

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université M'hamed Bougara Boumerdes

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Département : Génie des procédés

Filière : Génie des procédés

Option : Génie alimentaire

THEME

ETUDE COMPARATIVE ENTRE FERMENTATION DE DÉFÉRENTE GÉNÉRATION DE LEVEURS

Présenté par : Serradj Karim

Soutenu le : 04/06/2018

Jury:

Président : Mme YELLES

Examineur : Mme ANNOU.S

Promoteur : Ouslimani nacira

Co-promoteur: Ladj Sonia

grade

MCA

UMBB

UMBB

UMBB

SARL Tongo

Promotion 2018

Résumé

Pour des raisons techniques, économiques et écologiques les industriels font recours à la réutilisation des levures, mais des études ont démontrés un impact néfaste engendré par la mutation génétique ou bien la diminution du pouvoir de fermentation chez ces dernières, qui lui-même va influencer le déroulement du processus de fermentation qui va diminuer la qualité escomptée du produit. Notre étude essaye de mettre en évidence l'impact de prise d'âge chez les levures sur la fermentation des bières dans un cas pratique et de définir les limites de la réutilisation des levures qui permettent de préserver la stabilité de la production.

Mots clés : Bière, Levure, Vieillesse, Qualité.

Abstract

For technical, economic and ecological reasons, the industry uses the reuse of yeasts, but studies show that it had harmful impact caused by the genetic mutation or the decrease of the fermentation power, itself is going to influence fermentation process, which will reduce the expected quality of the product, so we have tried in this study to demonstrate practically the effect of yeasts aging on tongo beers fermentation and at last define yeast reuse limits without affecting products quality.

Keywords: Beer, Yeast, Aging, Quality.

ملخص

لأسباب تقنية واقتصادية وبيئية ، تقوم الصناعة بإعادة استخدام الخمائر ، ولكن الدراسات تشير إلى أن تأثيرها الضار سببه الطفرة الجينية أو نقصان قوة التخمير عبر الزمن الذي هو نفسه سيؤثر على مسار عملية التخمير ، والتي سوف تقلل من الجودة المتوقعة للمنتج ، لذلك حاولنا في دراستنا هذه إثبات تأثير شيخوخة الخمائر على تخمر الجعة وتحديد أفضل طريقة لإعادة استخدام الخميرة دون التأثير على جودة هذه المنتجات

مفتاح/ الجعة, الخمائر, الشيخوخة, الجودة.

Remerciements

Je remercie toute personne qui a contribué à ma réussite en particulier mes parents , nabila, mes frères dadis, houssam kouseila et leurs épouses nawel et radia et mes neveux younes et malak.

Je remercie tous les enseignants qui nous ont enrichis et nous ont encadrés en particulier mon encadreur Mme Ousslimani nacira et Mlle Haderbach latifa pour l'aide apportée afin de réaliser ce modeste travail.

Je remercie l'équipe de la SARL Tango en particulier Mme Ladj sonia mon encadreur, pour avoir mis à notre disposition tous les moyens possibles, ainsi que mon ancien responsable sans oublier l'équipe du laboratoire : ferhate, sofiane, salim, dalila et sara et ahmed.

Je remercie mes amis et frères illoule kaci, amine kacher, saidet fateh laroussi, massinissa mouheb, fayçal ramdhani, ayoub naamani, hassina koufi, rachid halate ,et ahmed bayou sans oublier

mes partenaires rabah bounous, salim akouche, meriem amraoui et khaled halouane, rachid halete, djafer bennaman et khaled kitouni .

Je vous dis à tous merci d'être dans ma vie

Et enfin je remercie les membres du jury Mme yelles et Mme anou d'avoir bien voulu juger ce travail.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mes parents qui me sont très chers
Anabila hamiche ma bienne aime et mes frères et leur petite famille
A mes grand parents paternels et maternels et toute la famille INEF
sans oublier mon oncle karim et ma tante faxia
A tous ceux qui contribue à apporter le savoir et le développement à
l'humanité
A vous amine kacher, cotche axix, amine rassoul, iloula kaci et saïd aroussi
sans oublier
meriem amracui rachid hallet et bachir bay fadila
Ahmed bayou qui m'ont apporté un grand soutien dans un moment très
difficile
A tous ceux qui se battent pour une cause juste afin d'apporter un bon temps
pour l'humanité*

Karim PERRELLI

Sommaire

Introduction	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1. La Bière.....	3
I.2. Histoire de la bière	3
I.3. Processus de fabrication de la bière	3
I.3.1. Le maltage de L'orge	3
I.3.1.1. L'orge en tant que matière première	3
I.3.1.2. But du maltage	4
I.3.1.3. Les cycles de maltage	5
I.3.2. Autres matières premières pour la fabrication de la bière.....	6
I.3.2.1. L'eau	6
I.3.2.2. Le Houblon	7
I.3.2.3. Les Produits Amylacés.....	7
I.4. Les Levures.....	8
I.4.1. Production énergétique chez les levures	9
I.4.2. Besoins nutritionnels des levures.....	9
I.4.2.1. Apport Carboné.....	9
I.4.2.2. Apport Azoté.....	10
I.4.3. Types de levures dans l'industrie brassicole.....	10
I.4.3.1. Les levures sauvages	10
I.4.3.2. Levures hautes.....	10
I.4.3.3. Levures basses.....	10
I.5. Procédé de fabrication de la bière	12
I.5.1. Concassage du malt.....	12
I.5.2. Le Brassage	12
I.5.2.1. Les facteurs essentiels dans le brassage	12
I.5.2.2. Chimie du brassage	13
I.5.3. L'empâtage	13
I.5.4. La filtration du mout	14
I.5.5. La cuisson et le houblonnage du mout.....	14
I.5.6. Clarification, refroidissement et oxygénation du mout.....	15
I.5.7. La fermentation et la filtration de la bière.....	15
I.5.8. Le soutirage de la bière	15
I.5.9. La pasteurisation	16
I.6. La Fermentation Alcoolique	18
I.6.1. Fermentation haute.....	18
I.6.2. Fermentation basse ou dite bavaroise	18
I.6.3. La Fermentation Spontanée	19
I.6.4. Fermentation Mixte.....	19
I.6.5. Fermentation verticale.....	19
I.6.6. Fermentation horizontale	19
I.7. Les étapes de la fermentation.....	20
I.7.1. La Propagation.....	20
I.7.1.1. La propagation directe à partir de la culture de laboratoire	20
I.7.1.2. La propagation répétée.....	20
I.7.2. Fermentation primaire.....	20
I.7.3. La phase de latence	20
I.7.4. La Phase de fermentation	21
I.7.5. La phase de fermentation sans croissance.....	21
I.7.6. La phase de floculation	21
I.7.7. La fermentation secondaire (garde)	21
I.8. Bilan de la fermentation.....	22

I.8.1. L’Ethanol	22
I.8.2. Les Alcools Supérieurs	23
I.8.3. Le Diacétyle	24

PARTIE PRATIQUE

II.1. Présentation de L’Entreprise « SARL TONGO »	26
II.1.2. Produits	26
II.2. Matériels et méthodes	27
II.2.1. Matériel	27
II.2.3. Codification des prélèvements dans les cuves	28
II.3. Méthodes	28
II.3.1. Densité apparente et % d’Alcool	28
II.3.2. Population de levure	28
II.3.3. La couleur	28
II.3.4. Recherche des bactéries lactiques	29
II.3.5. Recherche des levures sauvages et des contaminants	29
II.4. Résultats et discussions	30
II.4.1. Evolution de la densité apparente	30
II.4.1.1. Aspect général des courbes	33
II.4.1.2. Conclusion	34
II.4.2. Evolution du taux d’Alcool	34
II.4.2.1. Aspect général des courbes	37
II.4.2.2. Conclusion	38
II.4.3. Evolution de la population de levure	38
II.4.3.1. Aspect général des courbes	42
II.4.3.2. Conclusion	42
II.4.4. Evolution de la couleur	43
II.4.4.1. Aspect général des courbes	45
II.4.4.2. Conclusion	45
II.4.5. Evolution du pH	45
II.4.5.1. Aspect général des courbes	48
II.4.5.2. Conclusion	48
II.4.6. La recherche des bactéries lactique et des levures sauvages	48
II.4.6.1. Discussion des résultats	50
II.4.6.2. Conclusion	50
Conclusion générale	51
Références bibliographiques	
ANNEXE I : Norme produits	
ANNEXE II : Méthodes d’analyses	
ANNEXE III : Appareillage spécifique à la bière	

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition Moyenne dans L'orge	4
Tableau 2: Exigences des paramètres d'eau de brassage	6
Tableau 3: Principales levures de fermentation	11
Tableau 4 : La Composition glucidique du mout obtenu	14
Tableau 5 : types de bières produites par différents types de fermentations	19

Liste des figures

Figure 1: Bilan de maltage	6
Figure 2 : Croissance de la population de levure	9
Figure 3 : Schéma de la relation entre la température et les fractions solubilisées dans le brassage	13
Figure 4 : Organigramme de fabrication de la bière.....	17
Figure 5 : Biochimie de la fermentation alcoolique	22
Figure 6 : Formation des alcools supérieurs.....	23
Figure 7 : Formation des alcools supérieurs.....	24
Figure 8 : Formation du di-acétyl	25
Figure 9 : Formation du di-acétyl	25
Figure 10 : Evolution de la densité apparente série 1 (propa.-G42).....	30
Figure 11 : Evolution de la densité apparente série 1 (G51-G82)	30
Figure 12 : Evolution de la densité apparente série 2 (propa.-G3).....	31
Figure 13 : Evolution de la densité apparente série 2 (propa.-G32).....	31
Figure 14 : Evolution de la densité apparente série 3 (G41-G62)	32
Figure 15 : Evolution de la densité apparente série 4.....	32
Figure 16 : Evolution du degré d'alcool série 1	34
Figure 17 : Evolution du degré d'alcool série 1	35
Figure 18 : Evolution du degré d'alcool série 2	35
Figure 19 : Evolution du degré d'alcool série 3	36
Figure 20 : Evolution du degré d'alcool série 3	36
Figure 21 : Evolution du degré d'alcool série 4	37
Figure 22 : Evolution de la population de levure série 1.....	39
Figure 23 : Evolution de la population de levure série 1.....	39
Figure 24 : Evolution de la population de levure série 2.....	40
Figure 25 : Evolution de la population de levure série 2.....	40
Figure 26 : Evolution de la population de levure série 3.....	41
Figure 27 : Evolution de la population de levure série 4.....	41
Figure 28 : Evolution De la couleur série 1	43
Figure 29 : Evolution De la couleur série 2	43
Figure 30 : Evolution De la couleur série 3	44
Figure 31 : Evolution De la couleur série 4	44
Figure 32 : Evolution du pH série 1	46
Figure 33 : Evolution du pH série 2	46
Figure 34 : Evolution du pH série 3	47
Figure 35 : Evolution du pH série 4	47
Figure 36 : Contamination des bières sur milieu NWLD de la sirie 1	49
Figure 37 : Contamination des bières sur milieu NWLD de la sirie 2	49
Figure 38 : Contamination des bières sur milieu NWLD de la sirie 4	49

Introduction

La Technologie Brassicole est l'une des Technologies les plus anciennes qui est encore étudiée à l'heure actuelle. Elle est basée sur la fermentation bactérienne responsable d'un grand nombre de réactions chimiques pour la transformation des produits organiques.

La fermentation ce mot ancien est extrait du mot latin «**ferve**» voulant dire bouillir associé aux bulles observés lors de la fermentation.

Cette transformation qui se passe dans la bière est l'action des enzymes secrétés par les levures, ces micro-organismes unicellulaires qui appartiennent à la classe des champignons très abondant dans la nature et dans divers milieux ; la majorité du temps le genre *Saccharomyces* est utilisé à la fabrication de la bière.

On distingue trois types de fermentations, la fermentation haute, engendrée par les levures hautes « *Saccharomyces uvarum* » ; La fermentation basse, engendrée par le type « *Saccharomyces cerevisia* » et enfin la fermentation spontanée qui n'est pas utilisée dans l'industrie et qui est provoquée par « *Brettanomyces lambic* »

Le produit de ces transformations est la bière qui est considérée comme aliment très riche (boisson), c'est pour cette raison qu'elle est appelée le pain buvable ; cette boisson alcoolisée et très riche en éléments nutritionnelles comme les protéines, les sucres, les acides aminés essentiels, elle contient aussi les vitamines de la classe « B » comme B1-B2-B5-B6- B12 et PP; qui ont toutes des fonctions métaboliques majeurs telles que le rôle énergisant, la protection des maladies cardiovasculaires, la fixation du Mg, booste la croissance et la protection de peau. Elle apporte aussi une quantité de minéraux comme le Mg «déstressant» et le phosphore qui rentre dans la formation des os.

Mais en a un défi majeur pour produire cette boisson avec une qualité supérieure à cause de la difficulté de maîtrise du comportement des levures qui nécessite des conditions très spécifiques pour une fermentation correcte et à moindre coût car elle engendre des dépenses de production élevées.

Des études ont montré que les levures ont un pouvoir mutagène soit spontané soit provoqué par des effets externes, comme il a été observé dans les brasseries de grandes

marques la mutation de certaines souches après utilisation multiple de la levure, cette mutation peut être durable ou éphémère après quoi la levure récupère ces génomes d'origine. Une expérience où l'on a exposé des cellules de *Saccharomyces cerevisiae* rose à de la lumière UV montre que ces dernières ont changé de couleur et de taille, preuve d'une modification génétique [1].

Pour les raisons économique et écologique, les industriels font appel à la réutilisation des récoltes de levures, mais ça a un impact néfaste sur la fermentation et le produit quand la levure prend de l'âge, pour cette raison on a effectué cette étude d'un cas pratique sur de la levure *Saccharomyces cerevisiae* dans la brasseries tango sur différentes séries et types de bières pour mettre en évidence l'impact de prise d'âge des levures sur les paramètres de fermentation des bières et définir les risques liés à cette action et les conditions optimales pour la réutilisation des levures pour une qualité supérieure et économiser aux max les couts de production.

I.1. La Bière

La Bière est une boisson alcoolisée obtenue par la fermentation de solutions dérivées de céréales et autres Grains Amylacés, la plupart des bières sont obtenues à partir de l'orge et sont parfumées avec du Houblon, au **Japon**, en **Chine** et en **Corée**, la bière est fabriquée à partir de riz ; elle est respectivement appelée Saké, Sanskrit et Suk, le millet, le mil et d'autres graines sont utilisées en Afrique tandis que le kwas Russe est fait à partir de seigle [8].

I.2. Histoire de la bière

La fabrication de la bière fut connue depuis des millénaires et bien précisément chez les Egyptiens, l'Egypte qui a été l'un des grands producteurs d'orge et de Bière. Ça fait 4000 ans, une légende Egyptienne avance qu'**Osiris** déesse de l'agriculture l'aura fabriquée par brassage pour son intérêt nutritif et ses vertus pour la santé mais sa production se limitait à l'échelle artisanale.

En 1880 la fabrication Brassicole eue qu'on appelle Biotechnologie aujourd'hui a connu un grand tournant après que Louis Pasteur ait découvert les micro-organismes et en a fondé la science qui les étudie .Ce n'est qu'à partir de là qu'on a commencé à comprendre le processus de brassage et à bien l'exploiter. L'invention du réfrigérateur a donné lieu à l'exploitation de la fermentation [8].

I.3. Processus de fabrication de la bière

I.3.1. Le maltage de L'orge

I.3.1.1. L'orge en tant que matière première

L'Orge est la matière première pour la fabrication du malte, granaire céréalier, originaire **d'Asie** et **d'Ethiopie** est l'une des plantes les plus anciennement utilisées dans l'antiquité, l'Egypte, La **Grèce**, **Rome** et la **Chine** l'ont cultivée.

L'orge représente aujourd'hui en termes de quantité produite la quatrième céréale après le blé, le Riz et Maïs. Dans la majeure partie de L'Europe, ainsi qu'aux **EtatUnis** et au **Canada** l'orge est semée au printemps. Dans la région méditerranéenne, on la sème à l'automne, elle est connue pour être vigoureuse et résistante à la sécheresse.

L'orge peut être cultivée sur des terres peu propices aux céréales, des variétés résistantes au sel ont été produites pour les régions côtières.

L'orge germe à la même température que le blé, les différentes variétés cultivées appartiennent à trois types :

- L'orge à deux rangs
- L'orge à six rangs et écourgeon
- L'orge irrégulière

Les variétés Américaines sont généralement grandes, l'Europe cultive l'orge à deux rang, l'irrégulier et l'éthiopien [12].

L'orge appartient aux genres **Hordium** de la famille des graminées, on distingue :

- Orge à deux rangs « **Hordium distidion** »
- Orge 6 rangs « **H. Vulgare** »
- Orge irrégulier « **H. erregulare** »

Le Tableau 1 donne sa composition moyenne en nutriments.

Tableau 1 : Composition Moyenne dans L'orge [1].

Corposants	%
Eau	12 - 17
Hydrates de carbons	62 - 64
Matières grasses	1 - 3
Matières Azotées	9 - 12
Matières non Azotées	3 - 4
Minéraux	2 - 3
Cellulose et hemicelluloses	4 - 10
Matières pectiques, pentosanes , gommages	7 - 11
Sucre	1- 1,5

I.3.1.2. But du maltage

Le maltage a pour but de développer les enzymes existants dans l'orge afin de cataboliser l'amidon et de le transformer en sucres fermentescibles ; ainsi que les amylases qui vont dégrader les protéines en acides aminés et en polypeptides servant comme source

azotée pour les levures ; ces produits notamment l'azote soluble joueront le rôle de stabilisants du produit fini. Le maltage donne entre autre une couleur plus développée appréciée dans cette technologie, c'est pour cette raison qu'elle est considérée comme étape essentielle pour la fabrication de la bière.

I.3.1.3. Les cycles de maltage

Le maltage se fait en 3 étapes essentielles : le trempage, la germination et le touraillage.

Le Trempage

Dans cette étape on assure la germination de l'orge, l'élévation de l'humidité est alors nécessaire avec le maintien de l'oxygénation afin d'activer les enzymes et de transformer les matières azotées ; Cette étape se fait dans des cuves cylindro-coniques de 60 tonnes.

La Germination

La germination a le but de provoquer des modifications biochimiques sous une certaine humidité et une température constante, cette étape dure entre 4 et 6 jours avec une oxygénation adéquate (rapport $O_2/CO_2 > 1$) pour assurer la respiration des grains en évitant la fermentation ; une humidité comprise entre 42 et 46 % et une Température entre 13-16°C. L'orge est tournée afin de garder l'homogénéité des conditions.

Une contamination des grains par les micro-organismes de l'air peut se produire au cours de cette étape mais elle sera éliminée plus loin dans le process.

Touraillage

Cette étape a pour objectif de stopper la germination par le séchage du malt en vue de son stockage, elle apporte aussi de la couleur et du goût. L'opération est réalisée avec de l'air chaud qui séchera le malt et réduira l'humidité finale à 4 % On peut estimer qu'à partir de 1 000 kg d'orge on obtient 750 Kg de malt [1, 11]

Le Malte est donc un produit semi fini qui va être la source des substances fermentescibles et d'azote comme l'indique la figure 1.

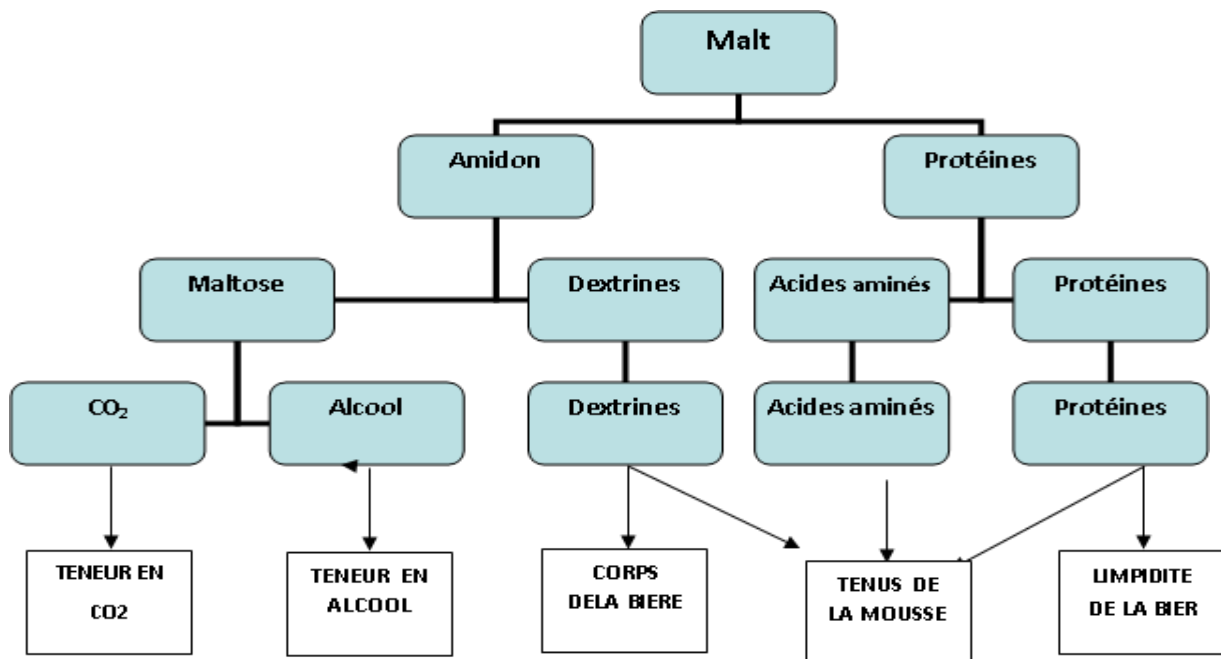


Figure 1: Bilan de maltage(Personnel)

I.3.2. Autres matières premières pour la fabrication de la bière

I.3.2.1. L'eau

Dans n'importe quelle industrie l'eau utilisée est soumise à des critères de qualité, c'est le cas pour la Brasserie. La quantité d'eau consommée est estimée de 12 fois plus grande que les quantités de bières fabriquées, on distingue 3 types d'eaux utilisées.

- *Eau de process* : Brute pour nettoyage externe
- *Eau traitée* : décarbonatée pour le brassage et le conditionnement
- *Eau de chaudières* : déminéralisée

Toutes ces eaux doivent être de qualité hygiénique et physico-chimique impeccable pour ne pas dévier le processus de fermentation [7, 15], le tableau 2 donne les intervalles pour les paramètres de dureté, de pH et de chlore.

Tableau 2: Exigences des paramètres d'eau de brassage [11]

Paramètres	TH (°F)	TA (°F)	TAC (°F)	Cl ₂ (ppm)	PH
Eau de brassage	6 à 52	0,5 à 1	1,3 à 2,3	0,75 à 1	5,2 à 5,8

I.3.2.2. Le Houblon

Le houblon est une plante grimpante de la famille des **chanvres**, du genre **humulus**, de la famille des cannabacées, son nom latin est ***Humulus lupulus***. Sa longévité peut atteindre cent ans, il possède une souche vivace sur la quelle croissent des figes rigoureuses, annuelles et vollebiles, elles s'enroulent dans les sens des aiguilles d'une montre autour d'un support. Les feuilles comportent de 3 à 7 lobes, les fleurs portant les étamines et celles portant les pistils poussant sur des individus Séparés (plante dite dioïque).

Les fleurs mâles se présentent en grappes ramenées opposées, et les fleurs femelles sont réunies deux à deux à l'aisselle de la bractée foliacée, groupées en chatons appelées cônes. Les fruits sont des akènes (fruit sec à graine unique) situés à la base de la bractée, la base de chaque bractée est couverte de glandes (les glande pédicelles) qui se secrètent une résine aromatique (oléorésine).

La lupuline après avoir été détachée et séchée, les glandes sont réduites en poudre, elle est utilisée en brasserie pour conférer à la bière son arôme et son amertume. La lupuline est également utilisée comme sédatif [8, 13, 15].

I.3.2.3. Les Produits Amylacés

C'est une matière première qui sera additionnée au malte pour l'augmentation du taux de sucre et la réduction de l'azote soluble afin d'avoir une Bière stable, en général c'est le maïs qui est ajouté à raison de 20 % du malte. On obtient ainsi le « *Sirop de Malte* » qui est un extraie sucré à base de malte.

En dernier les levures auxquelles nous consacrerons la partie suivante (I.4.), vu leur rôle primordial dans la transformation biochimique de la bière et le process.

I.4. Les Levures

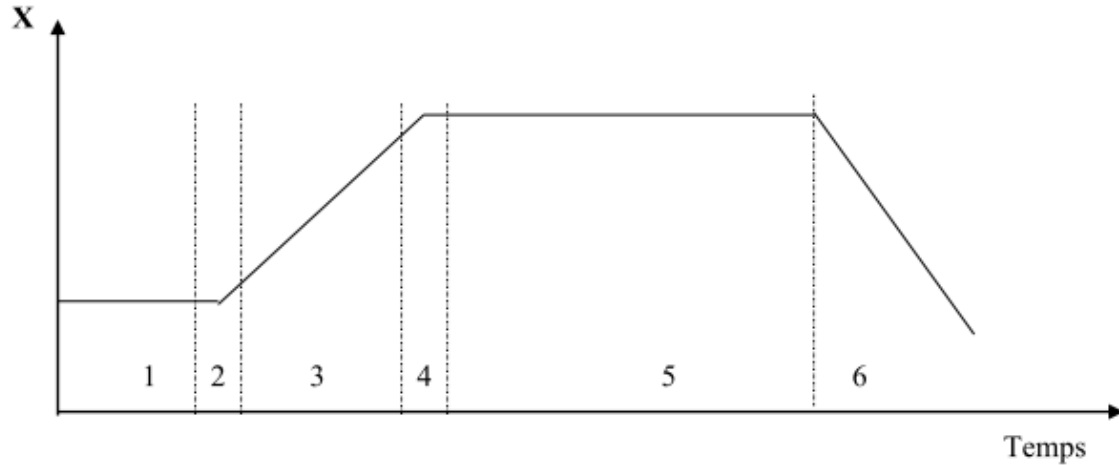
Les levures sont des champignons unicellulaires pour toutes ou une partie de leur cycle végétatif. Certaines sont connues depuis plus de 4 000 ans pour leur potentialité fermentaire. Il s'agit d'un groupe hétérogène qui, d'un point de vue taxonomique comprend 60 genres et 500 espèces; un certain nombre de procédés de fermentation et de produit qui en sont issus reposent sur l'utilisation des levures. Selon **Reed (1941)** et **Rappeler(1983)**[1], On peut les regrouper en plusieurs catégories : Levures de brasserie ; Levures de vinification ; Levures de distillerie et spiritueux et Levures d'aliments [2, 4, 18].

Les levures sont des eucaryotes et possèdent donc un noyau distinct et des organites subcellulaires tels que réticulum endoplasmique et mitochondries. De la structure de la cellule on peut savoir les critères âge et génération de levure. Leur structure contient toujours les éléments suivants :

Le Cytoplasme est le liquide physiologique qui renfermant des ribosomes, des enzymes et des poly-phosphates, il représente **12 %** du poids de la cellule ; Les poly-phosphates quant à eux sont à l'origine des phosphates utilisés dans les métabolismes et le transport membranaire du sucre ; Les Mitochondries qui libèrent les enzymes Polymérase et fermentaire et enfin la paroi qui est responsable de la forme de la cellule et de sa protection.

La croissance des levures est caractérisée par une biosynthèse ayant comme objectif l'élaboration de nouvelles cellules, qui se fait chez les saccharomyces par bourgeonnement. Leur développement suit une règle logarithmique comme l'indique la figure 2.

Pour avoir des bonnes conditions pour la croissance des levures, on doit s'assurer que le mout a une bonne oxygénation, une température et un pH optimales [1, 4, 17, 18].



- (1)Phase de latence : Durant cette phase, il n'y a pas de croissance.
 (2)Phase d'accélération : Où les cellules commencent à se développer
 (3)Phase exponentielle: Les cellules se développent proportionnellement avec la règle suivante $X = X_0 * 2^{(t / D)}$
 (5)Phase stationnaire : Arrêt de croissance
 (6)Phase de déclin : Mortalité des cellules

Figure 2 : Croissance de la population de levure [2, 14, 18]

I.4.1. Production énergétique chez les levures

Les deux principaux processus énergétiques connus chez les hétérotrophes sont la respiration et la fermentation. Les équations bilans (non équilibrées) des réactions chimiques correspondantes sont indiquées ci-dessous :

Respiration : $C_6H_{12}O_6$ (glucose) + $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{énergie utilisable}$

Fermentation alcoolique : $C_6H_{12}O_6$ (glucose) $\rightarrow CO_2 + CH_3CH_2OH$ (éthanol) + énergie utilisable

La levure *Saccharomyces cerevisiae* est capable de s'approvisionner en énergie tant par la fermentation alcoolique que par la respiration aérobie [1, 6, 13, 15].

I.4.2. Besoins nutritionnels des levures

I.4.2.1. Apport Carboné

Les levures utilisent les substances carbonées (sucre et autres) par voie d'oxydation, le carbone est utilisé pour la régénération, l'énergie dégagée est consommée par les cellules.

I.4.2.2. Apport Azoté

La plupart des levures sont capable d'utiliser les sources azotées minérales simples, mais aussi des sources azotées organiques telles que les aminoacides et les peptides, pratiquement toutes les levures sont capables d'utiliser l'ammonium sous forme de sulfate à condition que les certaines vitamines nécessaires soient fourni simultanément [2, 5, 12, 14].

I.4.3. Types de levures dans l'industrie brassicole

I.4.3.1. Les levures sauvages

Ce sont des levures amenées par l'air ambiant qui provoquent des fermentations spontanées telles que *Bretanomyces bruxeleus* et *Bretanomyces lambicus*.

I.4.3.2. Levures hautes

C'est des levures qui remontent à la surface de la bière dès que la fermentation est finie, elles donnent de grands taux d'alcool, au contraire des levures basses, elles ne sont pas inhibées par l'alcool et les produits azotés, on cite les *Saccharomyces cérevisiae* et *Tolasporadel bruechi*.

I.4.3.3. Levures basses

Ces levures tombent au fond des cuves à la fin de la fermentation, elles produisent des taux bas d'alcool comme *Saccharomyces uvarum* [3, 6, 15].

Le tableau 3 nous donne l'éventail des souches de levures utilisées en brasserie.

Tableau 3: Principales levures de fermentation (Quittanson.1984 in [17]).

	Famille	Sous-famille	genre	Espèce
Levures ascosporogènes	Saccharomycetaceae	Schizosaccharomycodae	Schizosaccharomyces	
	Se multipliant/scission			
	Se multipliant/bourgeonnement			
	Bourgeonnement multipolaire -spores et lisses	saccharomycodae	Saccharomyces	s. cerevisiae bayanus bailli rosei uvarum
	-spores en chapeau		Pichia	p. fermentans vini
			Hansenula	h. anomala subpelliculosa
	-spores verruqueuses rondes		debaryomyces	d. plafil
Levures asporogènes	Bourgeonnement bipolaire	nadioidae	Saccharomycodes	s. ludwigi
	- Spores rondes		Hanseniaspoa	h. uvarum
	- Spores en chapeau			osmophila valbyensis n.allongata
	Spores rondes teintées verruqueuses		Nadsonia	
	Cryptococcaceae			
	Se multipliant/bourgeonnement			
	Bourgeonnement multipolaire		Cryptococcus	Cr. albidus
Levures asporogènes	- Levures encapsulees		Bretanomyces	Laurent Bruxellensis
	- Levures en ogives		Torulopsis	Intermedius t. stellata
	- Levures ovoïdes		candida	candida dattila c.valida saké vini intermedia
	Bourgeonnement bipolaire		kloeckera	Kl. apiculata

I.5. Procédé de fabrication de la bière

Dans l'industrie brassicole on est obligé de suivre une chaîne d'opérations pour obtenir un produit fini de bonne qualité, ces étapes sont résumées comme suit :

I.5.1. Concassage du malt

Cette étape consiste dans le concassage du malte dite aussi mouture. Il est très important de faire un bon concassage sous certaines conditions pour ne pas avoir des contraintes lors de la filtration.

La mouture se fait à l'aide d'un moulin, généralement à 2 rouleaux, dont l'épaisseur définit la taille des éléments obtenus suivie d'un tamisage pour la séparation des gruaux et éviter les très fines. Les brasseries préfèrent la mouture à 3 passes avec tamisage après quoi un contrôle de la mouture s'effectue avec des tamis au niveau du laboratoire [11].

I.5.2. Le Brassage

Le brassage est une des étapes essentielles pour la fabrication, pendant laquelle les produits complexes vont être transformés en éléments simples fermentescibles. Dans cette étape on est censé obtenir à partir du malt et du houblon, un extrait abondant et le meilleur possible en utilisant l'eau qui va agir à une température bien déterminée, elle joue le rôle de liquide extracteur ou l'on va retrouver les sucres simples, les dextrines issues de l'amidon sous l'action des amylases et les matières azotées solubles provenant des protéines sous l'action des protéases [1, 11, 13, 15].

I.5.2.1. Les facteurs essentiels dans le brassage

Le brasseur dans cette étape va jouer sur les facteurs température et pH pour bien mener son brassage, selon la température on solubilise divers produits par exemple entre **45-50°C** s'effectue la solubilité des matières azotées, alors que ce n'est qu'entre **60 et 65°C** qu'on obtient les sucres fermentescibles ; la décomposition la plus rapide de l'amidon s'effectue entre **70 et 75°C** alors qu'à **60-65°C** on obtient les dextrines. Ceci en gardant un certain pH nécessaire pour l'activité enzymatique. La figure 3 montre l'évolution de ce transfert de matière [11, 13].

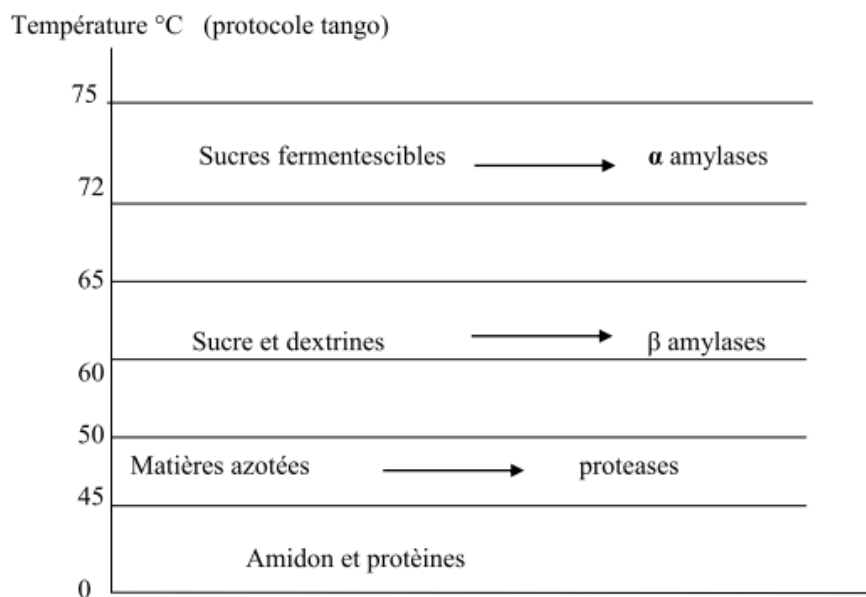
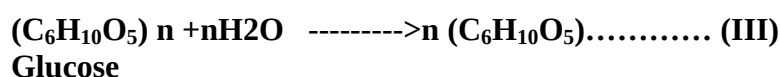
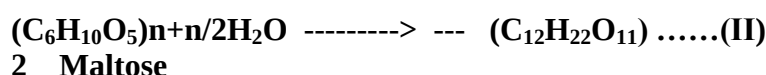
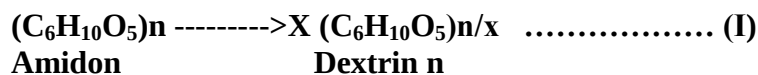


Figure 3 : Schéma de la relation entre la température et les fractions solubilisées dans le brassage (personnel)

I.5.2.2. Chimie du brassage

Le brassage peut être résumé avec 3 réactions chimiques majeures :



Les réactions (I) et (II) se déroulent pendant le brassage, lors cette étape on peut parler de trois niveaux de décomposition de l'amidon [11, 13].

I.5.3. L'empattage

C'est traiter le malt et le grain cru avec de l'eau chaude dans la cuve matière pour tirer l'amidon qui donnera les sucre simples. On parle de liquéfaction et de saccharification c'est à dire la transformation de l'amidon en dextrines puis en maltose par les enzymes α - Amylase (T°: 72-75°C / pH=5,6) et β - Amylase (T: 62-65°C / pH=5). On obtient une quantité de dextrines qui restera dans le mout d'environ 25 % ; autant que nous brassons à des

températures élevées nous allons avoir plus de dextrines dans le mout ce qui diminue la fermentescibilité du mout obtenu.

Pendant le brassage on obtient aussi une quantité de matières azotées Soluble qui est estimée à 40 % max de l'ensemble des substances azotés, et ceci sous l'action des protéases qui agissent sur les protéines et les décomposent à une température optimal de **45-50°C [6, 13]**.

Le tableau 4 donne un aperçu sur la qualité et les quantités des sucres dans le mout.

Tableau 4 : La Composition glucidique du mout obtenu [11]

glucides	Teneur g/l
Fructose	01
glucose	10
Saccharose	04
Maltose	65
Malto Triose	15

I.5.4. La filtration du mout

Cette opération consiste à filtrer le mout brassé qui doit être clair et brillant, on doit avoir des filtrations similaires (le rendement) pour garder la qualité la plus stable possible et un drèche le plus sec possible. Cette opération se fait dans la cuve-filtre sur un filtre à mout (filtre à toile) [16].

I.5.5. La cuisson et le houblonnage du mout

La Cuisson est réalisée pour l'obtention d'un mout stérile avant la fermentation et aussi pour coaguler les protéines pour éviter les troubles éventuels de la bière et stopper toute activité enzymatique. Cette opération s'effectue par l'ébullition du mout dans les chaudières à mout pendant 1 h 30 avec un taux d'évaporation variable **entre 3-10 % [protocole de fabrication tango]**.

Le houblonnage s'effectue par l'addition du houblon lors de la cuisson afin d'en extraire les produits aromatiques et amers. L'amertume libérée par le Houblon est insoluble, la solubilité s'effectue par l'isomérisation de ces composées. Généralement on trouve **25 à 40 %** de la quantité extraite dans la Bière sous sa forme naturelle [13].

I.5.6. Clarification, refroidissement et oxygénation du mout

Après houblonnage avec le houblon sous forme de pellets, la séparation des résidus du houblon sera très difficile. On doit opérer soit par filtration ou par décantation ou par centrifugation qui reste le moyen le plus performant. Pour le refroidissement on doit abaisser la température du mout avant de commencer l'ensemencement avec la levure à des températures en dessous de 2°C par rapport à la température de fermentation. Il est évident qu'il est impératif de garder la stérilité du mout. L'intervalle **20-40°C** est une zone critique car elle est propice aux contaminations et à l'oxydation ($T > 40^{\circ}\text{C}$) qui peuvent altérer la qualité de la bière. Cette étape se fait dans des refroidisseurs à plaques.

Comme le refroidissement se fait dans un équipement hermétique (appareille fermé), le mout sera à l'abri de l'air ce qui fait qu'il va être dépourvu d'oxygène nécessaire à la levure, pour cela de l'oxygène pur est injecté d'une façon homogène à un taux de **6-8 mg/l**[protocole de fabrication tango]

I.5.7. La fermentation et la filtration de la bière

Elle commence par l'étape de l'ensemencement de la levure sur le mout, cette dernière va transformer les sucres en éthanol et en alcools supérieurs dans la bière. Cette opération s'effectue dans les cuves cylindro-coniques d'une capacité de **2500 hl** à des températures basses entre **6-15°C** pendant une durée qui va de **15 à 23** jours pour avoir une fermentation optimale.

Après maturation on va procéder à la filtration de la Bière avec un filtre à pré-couche (filtre à disque) en ajoutant du Kieselguhr (terre de diatomées) pour éviter le colmatage rapide des plaques. Le kieselguhr est utilisé afin de retenir toute la levure et les autres particules indésirables dans la bière, une deuxième filtration avec du **PVPP** (polyvinyle polyphénol) est nécessaire afin de réduire le taux des poly phénols pour assurer une meilleure stabilité au produit fini [5, 11, 13, 16].

I.5.8. Le soutirage de la bière

Cette étape est mécanisée dans la brasserie moderne, elle se fait dans un atelier bien distinct appelé groupe d'embouteillage. Dans cette étape la bière est remplie dans des bouteilles en verre ou dans des canettes en aluminium grâce à des soutireuses iso-barométriques qui permettent de remplir les produits sans perdre le CO_2 et en évitons sa

contamination. Cette opération s'effectue dans des conditions d'hygiène très strictes [protocole de fabrication tango]

I.5.9. La pasteurisation

Ici on peut distinguer entre deux types de bières :

- bières vivantes : elles ne passent pas par la stérilisation.
- bières pasteurisées : qui sont les Bières industriels.

Dans le passé cette étape consistait dans le traitement thermique en absence d'air à des températures entre **60°** et **80°**C avant conditionnement, alors qu'à l'heure actuelle on fait la pasteurisation après remplissage et capsulage des bouteilles en les trempant dans l'eau chaude entre **54°-64°C** pendant **15- 20 min** ensuite elles sont refroidies, celle-ci se passe dans un tunnel pasteurisateur.

La pasteurisation vise la destruction des pathogènes et la réduction des micro-organismes existants dans la bière pour ne pas avoir des contraintes lors du stockage, ainsi elle améliore et prolonge la stabilité de la bière sans en altérer les principales qualités physico chimique et biochimique [protocole de fabrication tango].

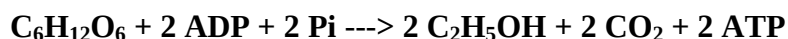
Puisque la production d'alcool est le but essentiel de cette technologie, il est intéressant d'aborder (dans la partie I.6.) avec plus de détail les transformations biochimiques qui y mènent et de voir quels sont les autres produits de la fermentation et leurs voies métaboliques.

Le schéma technologique ci-joint (Figure 4) explique toute la technologie de fabrication de la bière.

I.6. La Fermentation Alcoolique

La fermentation est une réaction biochimique consistant à libérer de l'énergie à partir de sucre (du glucose la plupart du temps). Elle ne nécessite pas de dioxygène, elle peut donc avoir lieu en milieu anaérobie. Elle se distingue, par son faible rendement énergétique, de la respiration cellulaire, qui nécessite, elle, de l'oxygène (milieu aérobie). Pour fermenter le moût, il est nécessaire de l'ensemencer avec des levures qui vont se charger de transformer le glucose (entre autres) en alcool et en gaz carbonique.

Dans le cas de la fabrication de la bière, la fermentation est dite éthylique (ou alcoolique) car la réaction dégage de l'éthanol, en d'autres termes c'est une oxydation incomplète suivie d'une décarbonatation de sucre ce qui donnera un alcool à la fin.



Glucose

éthanol



On peut distinguer plusieurs types de fermentations :

I.6.1. Fermentation haute

C'est un type de fermentation qui nécessite l'adjonction dans le mout des levures « Hautes » qui transforment le glucose (entre autres) en alcool et en gaz carbonique. La fermentation à lieu durant 3 à 8 jours à une température **15 à 25°C**. Lorsque la levure haute a épuisé le glucose elle remonte à la surface de la bière.

Elle était la méthode de brassage la plus répandue avant que ne fut inventé le réfrigérateur, mais la température élevée ne protège pas la bière des bactéries ou de champignon, donc elle se conserve moins de temps que celle produite par fermentation basse. La fermentation haute permet d'obtenir de hautes teneurs en alcool (la levure haute n'est pas ralentie en présence d'alcool ainsi que des arômes complexes).

I.6.2. Fermentation basse ou dite bavaroise

La fermentation basse nécessite l'adjonction de levure basse qui transforme le glucose en **Alcool** et **CO₂**. Les bières obtenues par fermentation basse ont un goût de houblon et de malt, elles sont en moyenne moins fruitées et moins alcoolisées que les bières de fermentation haute mais plus chargées en gaz carbonique.

Au cours de la fermentation la levure migre vers le fond de la cuve, celle-ci dure de 12 à 25 jours entre 6 et 15°C. La fraîcheur requise par le procédé a l'avantage de protéger la bière contre les bactéries et les champignons, c'est un produit qui a une durée de vie supérieure mais moins d'alcool.

I.6.3. La Fermentation Spontanée

C'est une fermentation qui ne nécessite pas l'adjonction des levures elle se laisse fermenter par les levures de l'air ambiant c'est le procédé utilisé auparavant, elle donne des bières acides et le temps de fermentation dure très longtemps.

I.6.4. Fermentation Mixte

C'est un mélange de deux fermentations, on fermente avec des levures hautes puis on laisse la bière à l'air ambiant pendant 18 à 24 mois pour mûrir et élever le taux d'alcool [4, 5, 6, 10, 13].

Du point de vue technologique on distingue aussi plusieurs types de fermentations :

I.6.5. Fermentation verticale

Cette fermentation se passe dans des cuves cylindro-coniques en verticale, c'est la méthode la plus utilisée dans les brasseries puisque elle permet la récupération facile de la levure pour une autre réutilisation.

I.6.6. Fermentation horizontale

Cette fermentation nécessite des cuves cylindriques placées en position horizontale mais elle pose des problèmes de récupération des levures. Pour pallier à ça la fermentation en horizontale est suivie d'une fermentation en verticale, comme c'est le cas des bières Heineken. Le tableau 5 donne quelques produits issus de ces types de fermentations.

Tableau 5 : types de bières produites par différents types de fermentations [1].

Fermentation	Levure(s)	T (°C)	Appellation(s)
basse	<i>Saccharomyces uvarum</i>	6-15	lager, pils, Schwarzbier, Dunkles, Export_Bier, Helles
haute	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	15-25	ale, stout, weizen, etc.
spontanée	<i>Brettanomyces bruxellensis</i> , <i>Brettanomyces lambicus</i>	NC	lambic, gueuze, faro, krielk
mixte	<i>Brettanomyces bruxellensis</i> , <i>Brettanomyces lambicus</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	NC	bière rouge

I.7. Les étapes de la fermentation

On a dans la fermentation plusieurs étapes (Figure 2) :

I.7.1. La Propagation

Son objectif est d'obtenir à partir d'une culture conservée au laboratoire, au moment opportun, une culture d'un volume suffisant pour inoculer une cuve de production de levain qui sera récolté au fond de cuve sera ensuite réutilisée pour une nouvelle fermentation et ainsi de suite **de 6 à 10** fois. Deux méthodes de propagation peuvent être utilisées.

I.7.1.1. La propagation directe à partir de la culture de laboratoire

Le levain produit par une propagation qui se déroule, d'abord au laboratoire puis en usine est utilisé intégralement pour ensemençer une cuve. La propagation unique a l'inconvénient de nécessiter un temps de propagation relativement long si elle a lieu à une température voisine de la température de fermentation.

I.7.1.2. La propagation répétée

Une partie des levains conservée dans le propagateur permet la propagation suivante, sans retour à la culture du laboratoire et ceci pendant plusieurs mois. La propagation répétée permet l'obtention plus rapide de levains mais elle nécessite d'être rigoureux sur le plan de l'asepsie puisque toute contamination risque d'avoir des conséquences sur de nombreuses fermentations successives [2, 13, 16].

I.7.2. Fermentation primaire

C'est elle qui assure l'essentiel des transformations biochimiques du mout et notamment la transformation des sucres en alcool, son déroulement dépend de la propriété de la souche de levure choisie, de son état physiologique, de la dose, des conditions d'ensemencement et de la température. Il est nécessaire que le levain ait une viabilité élevée, différentes méthodes ont été proposées pour l'évaluer [1, 2, 6, 15].

L'ensemencement se fait à **200 g/hl** ce qui est équivalent à **1g** de matière sèche pour **500 ml** ou **10** million de cellules par ml.

I.7.3. La phase de latence

Au cours de cette phase qui dure environ **24 h**, la levure ne se multiplie pas, bien qu'elle soit loin d'être inactive. Les transformations suivantes sont observées :

- L'oxygène est prélevé et épuisé rapidement

- D'après Rose et Keenan (1981) l'absorption des amino-acides et des peptides commence et le taux de Na de la cellule s'accroît [11]
- Les minéraux sont absorbés et le **pH** diminue

La fermentation ne démarre pas encore, une bonne aération à l'encensement peut réduire le temps de cette latence.

I.7.4. La Phase de fermentation

Le nombre de cellules augmente mais en modeste quantité jusqu'à arriver à **10 %** de cellules/ml. Au cours de cette phase la fermentation est active l'absorption des amino-acides se poursuit et le **pH** diminue encore.

I.7.5. La phase de fermentation sans croissance

Ici les multiplications s'arrêtent, les amino-acides sont pratiquement épuisés le pH se stabilise, des esters et des alcools supérieurs apparaissent en même temps que les sucres s'épuisent lentement, dégradés par la fermentation et stockés sous forme de glycogène ce qui implique l'augmentation de la masse cellulaire.

I.7.6. La phase de floculation

A la fin de la fermentation se produit le phénomène de floculation les levures qui s'agglomèrent en flocons et sédimentent, à ce stade elles sont contrôlées puis réutilisées pour lancer une autre fermentation. Les éléments qui influent sur la fermentation sont la composition du mout, l'Oxygénation, et la Température [1, 11, 13, 2, 5].

I.7.7. La fermentation secondaire (garde)

Cette étape se fait dans des tanks, c'est une opération qui achève la fabrication de la bière, elle permet d'affiner le produit et de décanter les matières en suspension, en parallèle elle permet la saturation en **CO₂**. Le moment de « traversage » qui consiste à transférer la bière aux tanks de garde est choisi par trois critères :

- **Taux** de sucre.
- Taux de levures pour les transformations ultérieures.
- Le taux de di-acétyl.

La fermentation secondaire se déroule pendant plusieurs semaines (**1-3**) aux alentours de **0°C**, elle ne se manifeste pas par des transformations biochimiques mais par des modifications subtiles et décisives sur le plan organoleptique qui constitue l'affinage et la stabilité colloïdale [5].

I.8. Bilan de la fermentation

Après fermentation on retrouve des produits qui se sont développés qui sont d'après Hartong (1968)[11, 13].

- | | | |
|--------------------|---|---|
| ○ Alcool supérieur | } | à des concentrations de l'ordre du mg/l ayant une influence plus ou moins favorable |
| ○ Esters | | |
| ○ Aldéhydes | | |
| ○ Acide volatil | | |
| ○ Di-acétyl | } | par mg/l mauvais goût |
| ○ Hydrogène | | |
| ○ Mercapans | | |

Nous allons voir ci-après les facteurs qui conditionnent l'apparition des composés les plus significatifs pour la qualité des bières [3, 11]

I.8.1. L'Ethanol

C'est la réaction principale et majeure pour la bière, elle consiste en la formation de l'alcool éthylique à partir du glucose selon la voie métabolique montrée sur la figure 5.

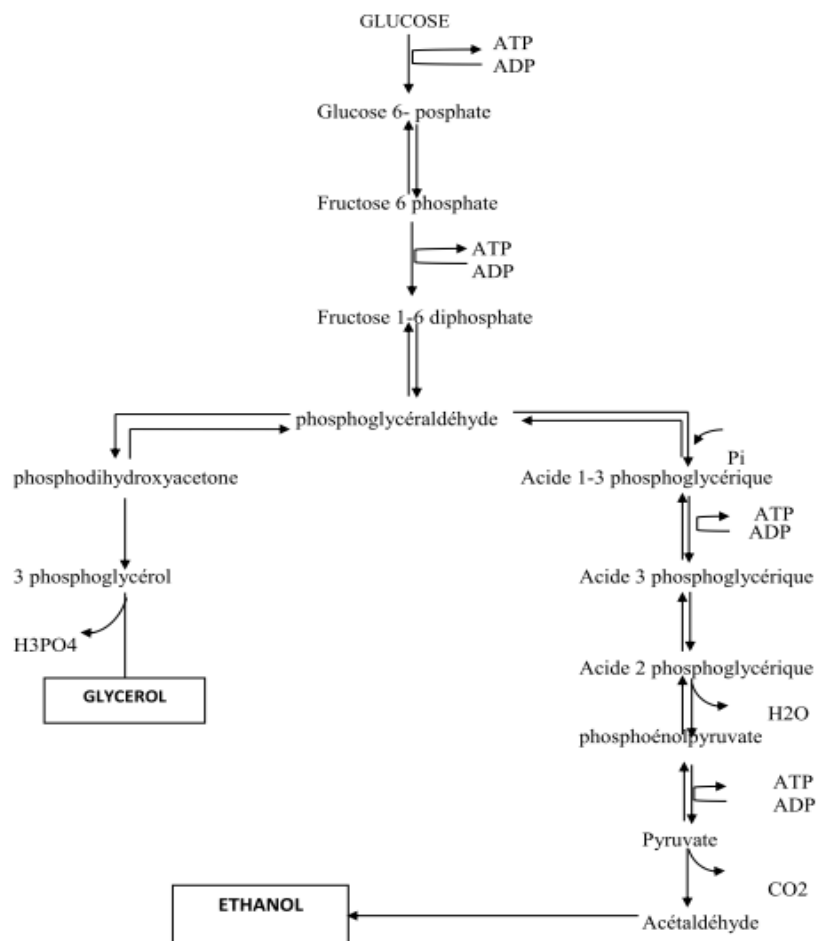


Figure 5 : Biochimie de la fermentation alcoolique [13]

I.8.2. Les Alcools Supérieurs

Dans le mout il y a peu d'alcools supérieurs, ils apparaissent au cours de la fermentation dans les boissons fermentées et se trouvent à des concentrations qui varient de **73 à 129 mg/l**.

Hough et Stevens (1961)[13, 15], voient une corrélation importante entre la production d'éthanol et celles des alcools supérieurs, ce qui indique la relation entre la production de ces composés et l'activité métabolique de la levure.

Ehrlich dès 1904 (cité par Ingraham, 1963[13, 15]) entreprend des recherches sur la genèse des alcools supérieurs au cours de la fermentation, il montre que l'addition de leucine et d'isoleucine à un milieu contenant du glucose conduit à la production des alcools supérieurs correspondants.

Leucine -----> alcool iso-amylique

Isoleucine -----> alcool iso-amylique actif

Tyrosine -----> tyrosol

Tryptophane -----> tryptophol [11, 3]

Senthe Shanmug anathome(1958)[13]apportent des connaissances supplémentaires sur le mécanisme intime de l'étape de la Biosynthèse des alcools à partir de matières azotées, et donnent le schéma suivant (figure 6):

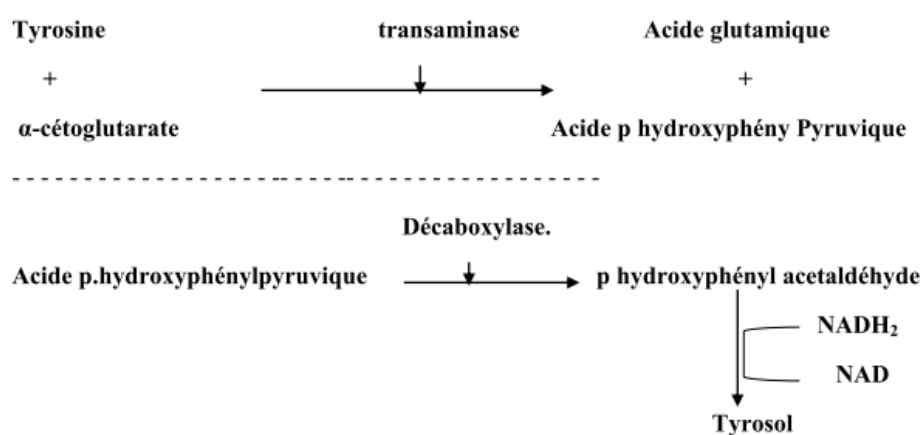


Figure 6 : Formation des alcools supérieurs [11, 13]

Pendant la fermentation, la disparition des acides aminés et la production d'alcool ne sont pas complémentaires et la formation d'alcools supérieurs et d'éthanol sont parallèles.

D'autre part, certains alcools comme le propanol et le butanol n'ont pas de précurseurs directs dans les acides aminés des milieux naturels. Suite à quoi **Antniani**(1948)[13] prouve qu'une partie des alcools supérieurs provient de molécule de sucre en constatant la présence d'alcools supérieurs après fermentation d'un milieu contenant du saccharose et du sulfate d'ammonium, une autre voie de production des alcools supérieurs est donc mise en évidence.

Les différentes étapes de cette voie ont été étudiées par deux groupes de recherches. Harris (1958), Ouch(1966) [13] ont mis en évidence les différentes étapes intermédiaires des réactions ; ce dernier groupe donne un schéma de la biosynthèse des alcools supérieurs à partir des acides aminés chez les levures (Figure 7).

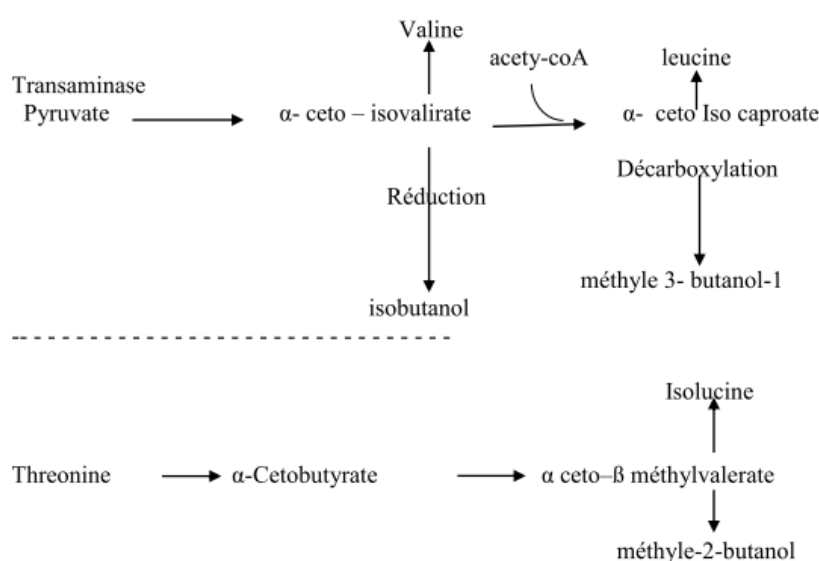


Figure 7 : Formation des alcools supérieurs [11]

I.8.3. Le Di-acétyle

Le di-acétyle est un produit normal de la fermentation alcoolique par la levure, mais la formation de ce composant en quantité excessive est considérée due à l'activité des contaminants. Certains chercheurs accusent la prise d'âge de la levure ou bien sa réutilisation multiple car elles deviennent plus productrices de diacétyle. La production en excès de ce composant est considéré comme nuisible à la qualité de la bière puisqu'il donne un mauvais goût (un goût de beurre).

De nombreux travaux ont conduit à conclure que le diacétyle est formé à partir de l'acide α -aceto-valérique, produit intermédiaire de la synthèse de la valine, en effet Dirsherl montre que l' α -aceto-lactate est un précurseur de l'acétoine et la valine ; Strassmanob tient de la valine à partir de l'acide α -aceto-lactique, par *Saccharomyces cerisaie* dans un système

récurant de l' NADH_2 . Enfin **Coll** trouve que la formation de di-acétyl pendant la fermentation est très diminuée par l'addition de L-valine. En conclusion ils schématisent ainsi la formation de ce dernier (Figure 8)

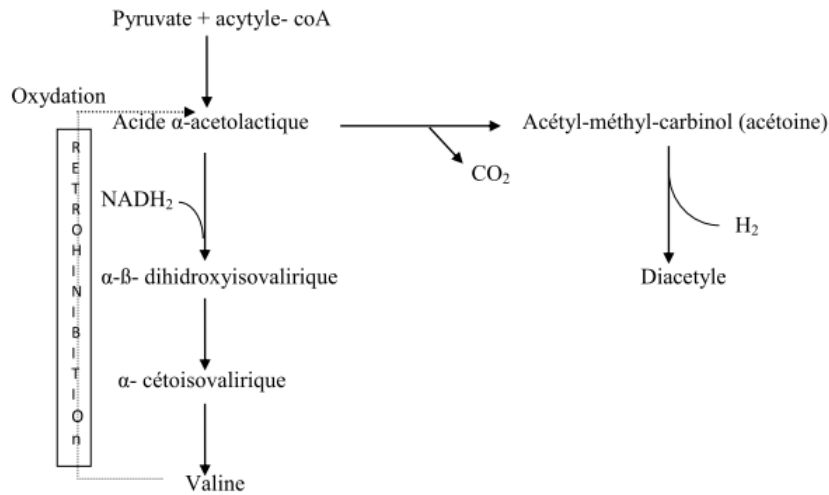


Figure 8 : Formation du di-acétyl [13]

Un mout pauvre en valine et l'aérobiose orientent la levure à synthétiser du di-acétyl, mais le type de micro-organismes aussi ; **Seitza** montré que les *Streptococcus diacetylactis* possèdent les enzymes nécessaires pour effectuer la séquence Figure 9:

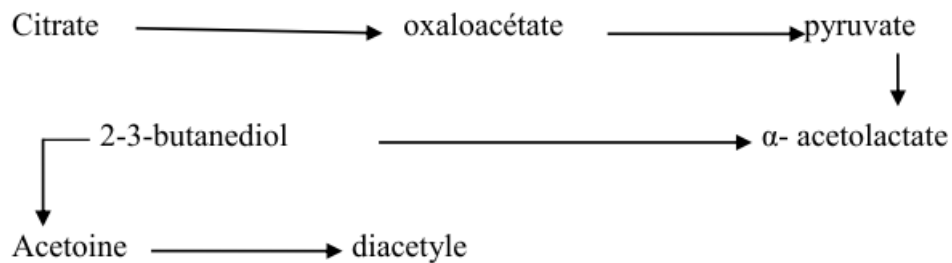


Figure 9 : Formation du di-acétyl [13]

Il faut donc veiller à éviter les contaminations pendant la fermentation car c'est alors que la quantité de di-acétyl dépasse le seuil cible, provoquant des mauvais goûts dans la bière.

II.1. Présentation de L'Entreprise « SARL TONGO »

La **SARL TONGO** est une société à responsabilité limitée produisant de la bière. Elle a été fondée en 2001 comme société algérienne qui produise des produits sous licence allemande puis elle a été rachetée par le grands groupe Hollandé **Heineken** pour l'ajouté à ces brasseries à travers le monde.

- Equipement : Par la Société « **STEINECKER** »
- Capacité de Brassage 10 Brassin/ jours (capacité cuve 40 m³)
- Capacité de l'usine était de 500 000 hl/an et ces dernières années elle produit jusqu'à 700 000 hl /an.
- Fermentation 15-23 Jours en verticale ou en mixte verticale horizontale
- Volume des cuves, cylindre conique verticale de 2 500 hl
- Volume des cuves, cylindre Horizontale de 1 300 hl
- Temps de garde 3 à 7 jours
- Conditionnement : Fut , canette, bouteille.
- Concasseur type vario-Mill
- Refroidisseur à plaque
- Filtre pour la bière: Filtre à disques « **KEISELGHUR** » ensuite Filtre PVPP
- Pasteurisation par échangeur à plaque pour liquide ou par tunnel Pastro pour produit fini.

II.1.2. Produits

- Heineken
- Amstele
- mudzidingue
- TANGO
- SAMBA
- FIESTA

Ce travail consiste dans le suivi et l'étude de cas de quatre séries de fermentations par deux souches de levure *Saccharomyce cerevisiae* de même type ;

Dans l'industrie on réutilise la levure récoltée plusieurs fois mais ça impacte la fermentation et les substances issues de cette dernière ainsi que certains paramètres.

Les bières sujettes à cette étude sont la **HEINEKEN**, la **MUDZINGUE** et la **SAFITA**, les **paramètres de contrôle** sont la **densité**, le taux d'**alcool**, la couleur, le **pH**. Et enfin l'évolution de la population de **levure** qui est le facteur essentiel dans notre étude puisque son évolution et sa prise d'âge a des effets sur le déroulement de la fermentation et souvent elle est néfaste.

II.2. Matériels et méthodes

Ce travail a été élaboré sur quatre séries de bières, dans la première à 9 cuves, dans la 2^{ème} à 4 cuves, 7 cuves dans la troisième et 6 cuves pour la dernière.

L'échantillonnage se fait chaque jour, dans des bouteilles en verre hermétiques, par le biais d'un robinet au centre de la cuve avec l'aide d'un serpentin pour éviter que la bière ne mousse et n'entraîne une perte de substance. Les échantillons seront analysés instantanément pour ne pas avoir une modification des paramètres au cours du temps. Les normes pour les produits étudiés sont mentionnées dans les tableaux en Annexe I.

II.2.1. Matériel

- Dans notre étude on a utilisé le matériel suivant :
- Gélose (mWLN et NBBA), 2 souches de levures (*Saccharomyce cerevisiae*) du même déontique spécifique à Heineken de fermentation basse.
- 2 cuves de bières pour propagation et pour élevage
- 22 cuves de bières pour fermentation
- Des cuves cylindriques en verticale
- Des cuves cylindriques horizontales
- Des levuriers pour stockage de levures récoltées
- Spectrophotomètre UV-Visible

- ANTON PAAR type ALCOOLISER plus
- pH mètre
- Boites de pétrie
- hôte stérile
- Nuclio-compteur

II.2.3. Codification des prélèvements dans les cuves

- Propa. Cuve de propagation
- Gxy : Generation .X N° generation Y N° de cuve
- Série 1 : cuve G11/12,G21/22,G31/32, G41/42 de type **Heineken**, G51/52 de type SAFITA et G 61/62,G71/72et G81/82 de type Mudzdezing
- Série 2 : cuve G11/12,G21/22,G31/32 SAFITA
- Série 3 : cuve G11/12,G21/22,G31/32,G41/42,G51/52etG61/62 de type Heineken
- Série 4 : cuve G11/12 type Heineken et G21/22 SAFITA et G31/32,G41/42,G51/52 Mudzdezing

II.3. Méthodes

II.3.1. Densité apparente et % d'Alcool

La mesure de la densité d'un liquide est déterminée en calculant le rapport entre la masse des substances organique et minérale par rapport à une masse du liquide analyse concernant la densité apparent par contre pour le % d'alcool c'est le rapport du volume d'alcool et le volume du liquide, elle se fait par la méthode de l'ANTON PAAR (voir annexe II). Elle exprime la contenance du mout en matières organiques et non organiques (matière soluble)

II.3.2. Population de levure

A l'aide des spécifications de l'alimentation bactériennes en a conçu des milieux spécifique à chaque type de bactéries qui va nous aide à cultiver et sélectionner ces dernières et maitre en évidence leur présence et leur nombre

II.3.3. La couleur

La détermination de la coloration se fait en unité EBC européen brawring corporation à l'aide d'un spectrophotomètre à 430 nm.

II.3.4. Recherche des bactéries lactiques

Le principe est de faire des cultures dans un milieu sélectif en anaérobiose pour mettre en évidence la présence des bactéries lactiques qui vont entrer en concurrence avec la levure et vont faire une fermentation lactique et produire de l'acide lactique qui faussera le goût de la bière.

II.3.5. Recherche des levures sauvages et des contaminants

Faire des cultures dans un milieu sélectif pour mettre en évidence la présence des levures sauvages et des bactéries contaminant le milieu, qui vont entrer en concurrence avec la levure et vont faire une fermentation spontanée et produire du di-acétyle qui faussera le goût de la bière.

Tous ces paramètres ont une importance majeure dans la technologie brassicole, la densité apparente est utilisée pour voir la vitesse de consommation des sucres fermentescibles dans le mout [13] ; le % d'alcool définit le rendement de la fermentation ; La couleur et le pH permettent de voir les modifications qui se passent dans le mout avec l'épuisement de certaines substances et l'apparition d'autres [13] ; La population de levure c'est l'indice de croissance du nombre cellulaire et la floculation des levures, il aide à connaître le temps et la quantité de biomasse qui sera en contact avec le mout [11, 13, 14] ; Enfin la contamination bactérienne a pour but de déterminer s'il n'y a pas un autre intervenant qui va parasiter le processus de fermentation [10].

II.4.Résultats et discussions

II.4.1. Evolution de la densité apparente

Le suivi de la densité apparente sur les quatre productions sur 25 jours a donné lieu aux figures suivantes :

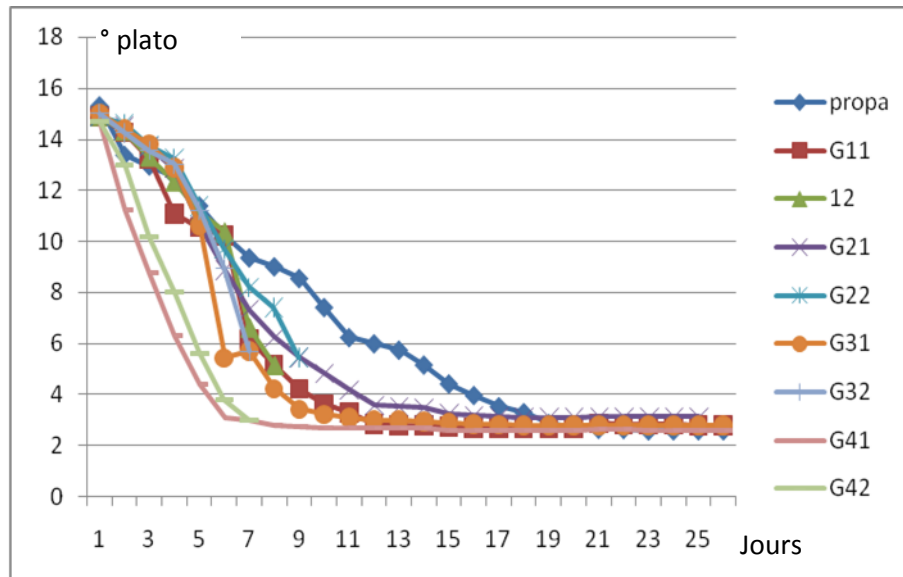


Figure 10 : Evolution de la densité apparente série 1 (propa.-G42)

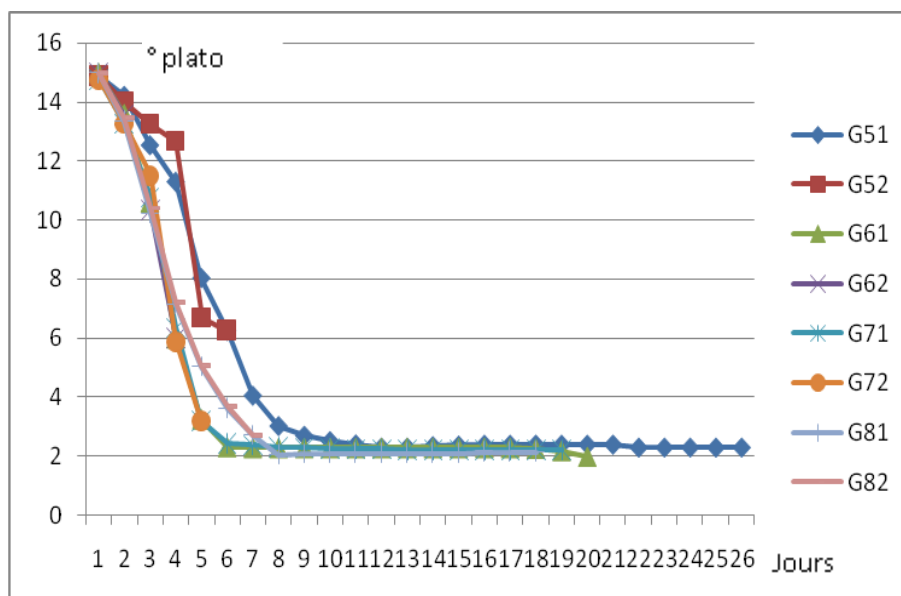


Figure 11 : Evolution de la densité apparente série 1 (G51-G82)

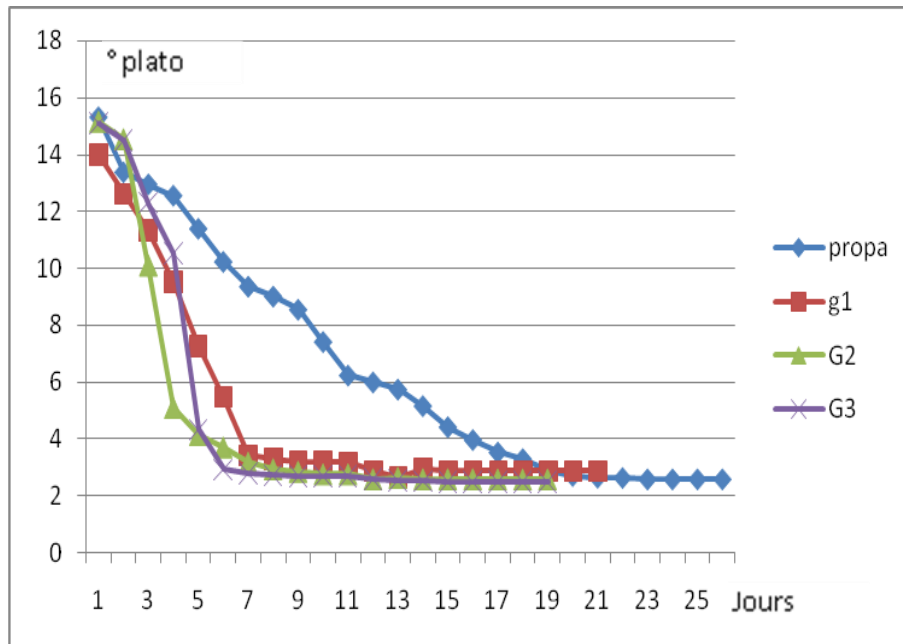


Figure 12 : Evolution de la densité apparente série 2 (propa.-G3)

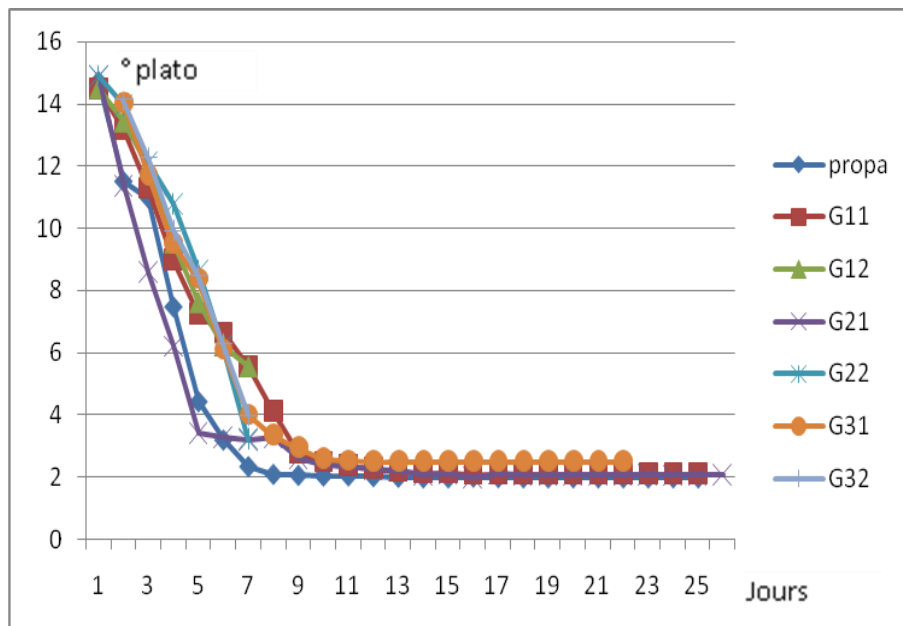


Figure 13 : Evolution de la densité apparente série 3 (propa.-G32)

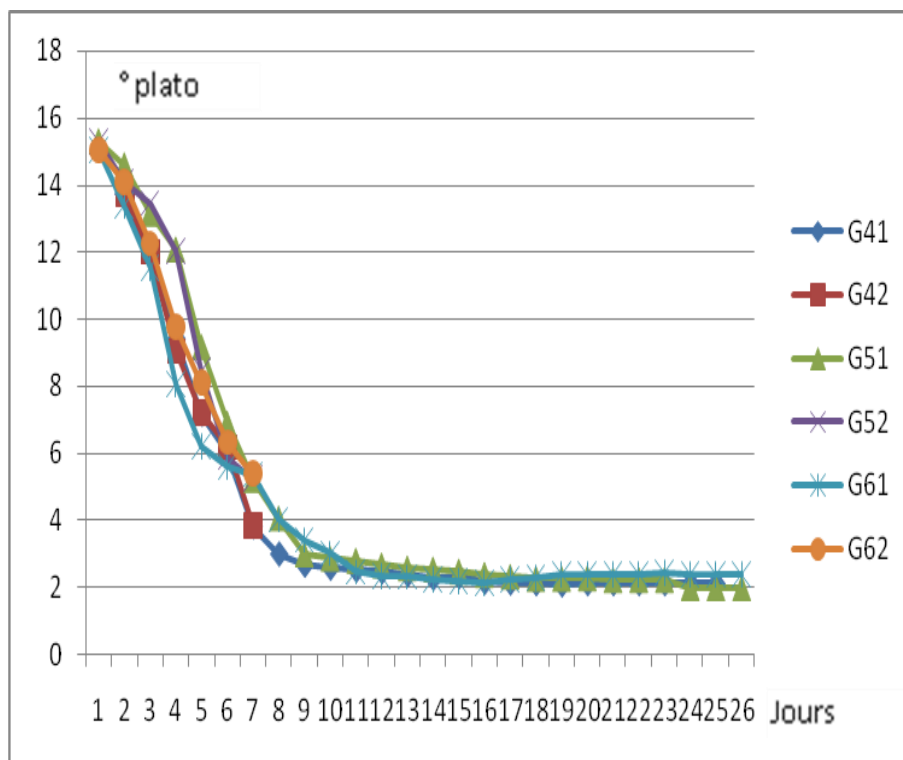


Figure 14 : Evolution de la densité apparente série 3 (G41-G62)

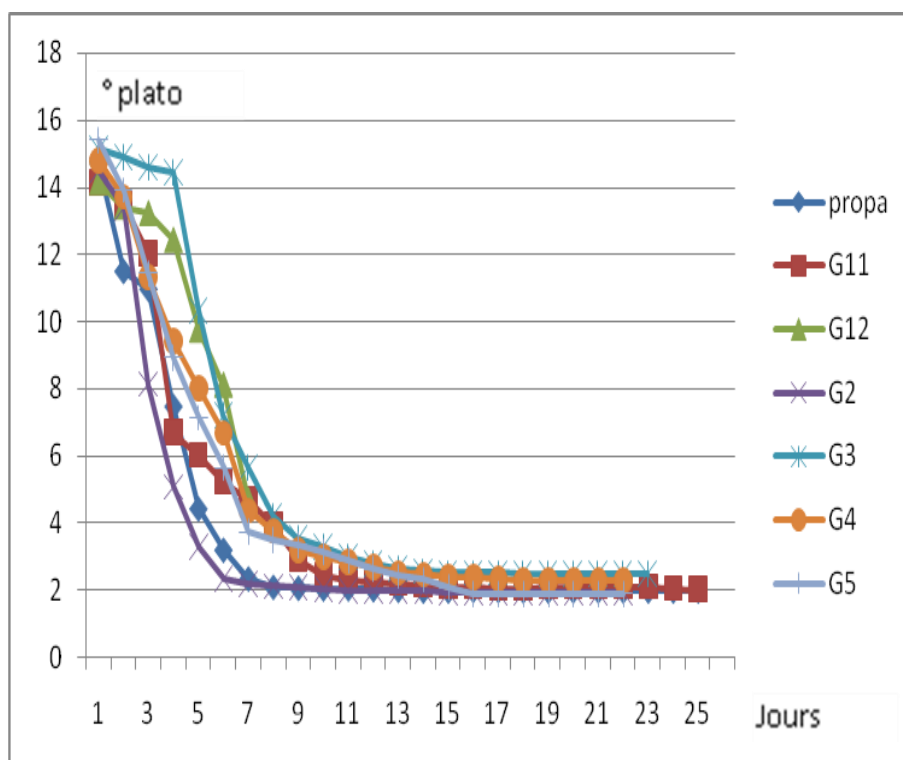


Figure 15 : Evolution de la densité apparente série 4

II.4.1.1. Aspect général des courbes

Au cours de la fermentation principale

L'allure des figures montre que la fermentation débute à 15 plato pour toutes les bières. Au départ de la fermentation la densité s'abaisse lentement entre le jour (0-1), c'est la phase de croissance des levures elles ne fermentent pas encore, or que dans certaines cuves de la série 1 (G61-82) la densité décroît rapidement et ça vu la nature du mout (matière première) et la température de fermentation qui est plus élevée à 13°C dans les autres bières que dans la Heineken qui est à 11°C.

A partir du deuxième jour la chute de la densité est rapide jusqu'à atteinte de la densité limite de 2 à 3 plato selon le type de bière. C'est la phase d'épuisement des produits fermentescibles, la courbe devient stable elle prend une valeur constante qui diffère d'un produit à un autre, selon le nombre cellulaire et la génération de levure et aussi la densité initiale car ceci agit sur la durée d'épuisement de ces substances.

Au cours de la fermentation de garde

Au bout de 20 jours pour la Heineken et 15 jours pour les autres bières, on commence à refroidir les cuves pour rentrer dans la phase de garde.

La densité apparente baisse légèrement à cause de la perte de certaines substances (en partie les protéines) qui se forment en particules plus lourdes et se déposent au fond de la cuve et pendant toute la garde la densité apparente reste constante puisque les sucres sont épuisés et la levure est inhibée par les basses températures.

Différence des courbes

Même si l'aspect général des courbes se ressemble, on constate quand même des différences et des anomalies telles que la différence entre la vitesse de chute de la densité de la Heineken qui est fermentée à 11°C et les autres bières à 13°C qui sont plus rapides à fermenter à cause de la température plus élevée.

Comme on constate que la propagation ne réagit pas de la même sorte que les fermentations dû au long stockage des souches à des températures basses et le manque des nutriments qui cause un énorme stress qui ralentit l'activité des levures. On le remarque dans les cuves de la série 4 (G11-22) mais ce stress disparaît avec le temps et la levure reprend son activité normale, mais elle peut retomber dans la même situation avec les stockages de ses récoltes et ralentir à nouveau.

On constate aussi qu'avec la prise d'âge la consommation et la transformation des sucres est plus longue que chez les premières générations surtout pour atteindre la densité

limite des mouts, car la levure se fatigue et subit des contaminations qui vont entraver le déroulement de la fermentation.

II.4.1.2. Conclusion

La consommation des sucres fermentescibles ralentit avec l'âge des levures et aussi avec la contamination du mout qui va parasiter le processus de fermentation.

II.4.2. Evolution du taux d'Alcool

L'allure des courbes sont généralement croissantes de façon exponentielle puis elles deviennent stationnaires.

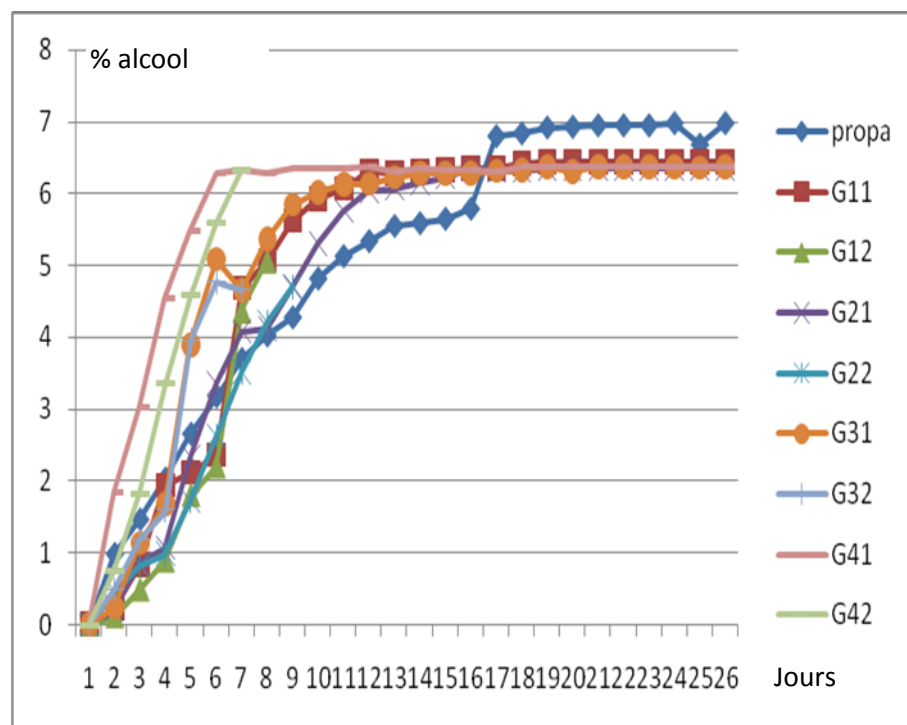


Figure 16 : Evolution du degré d'alcool série 1(propa – G42)

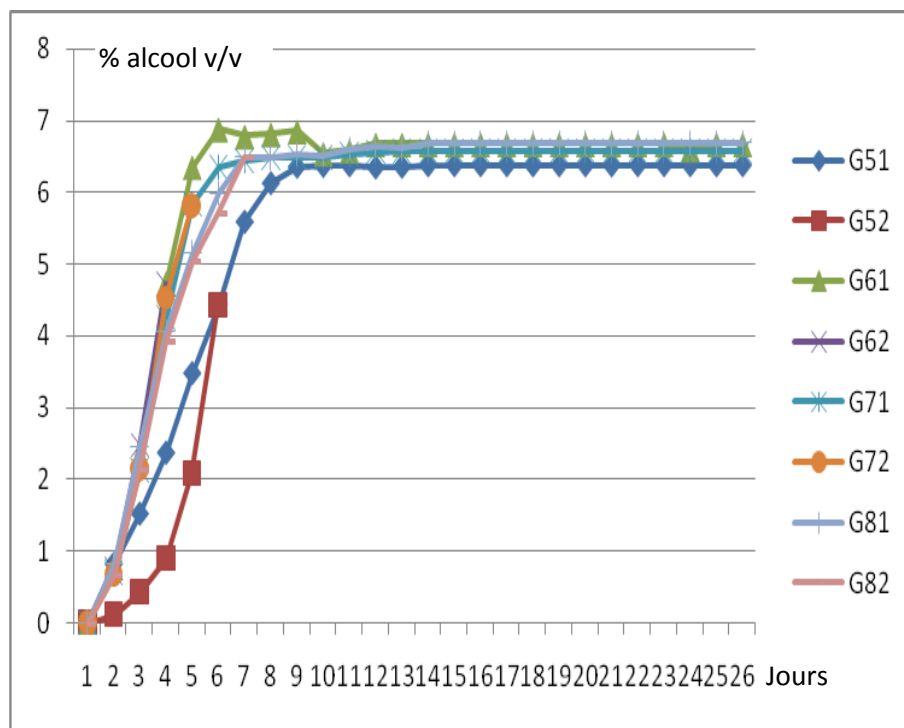


Figure 17 : Evolution du degré d'alcool série 1(G51-G82)

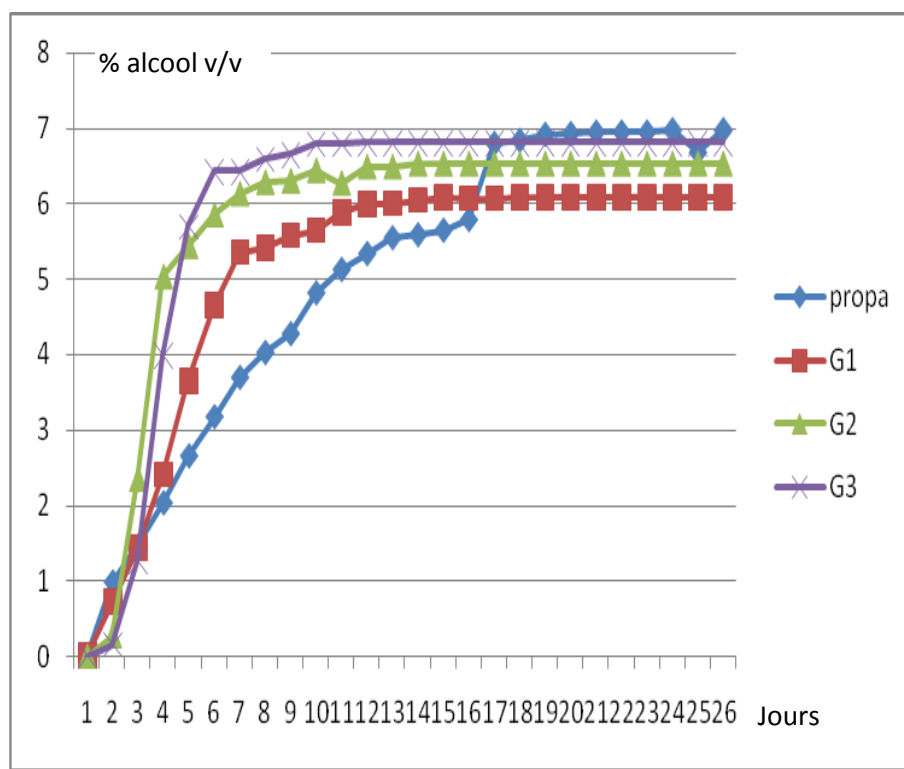


Figure 18 : Evolution du degré d'alcool série 2

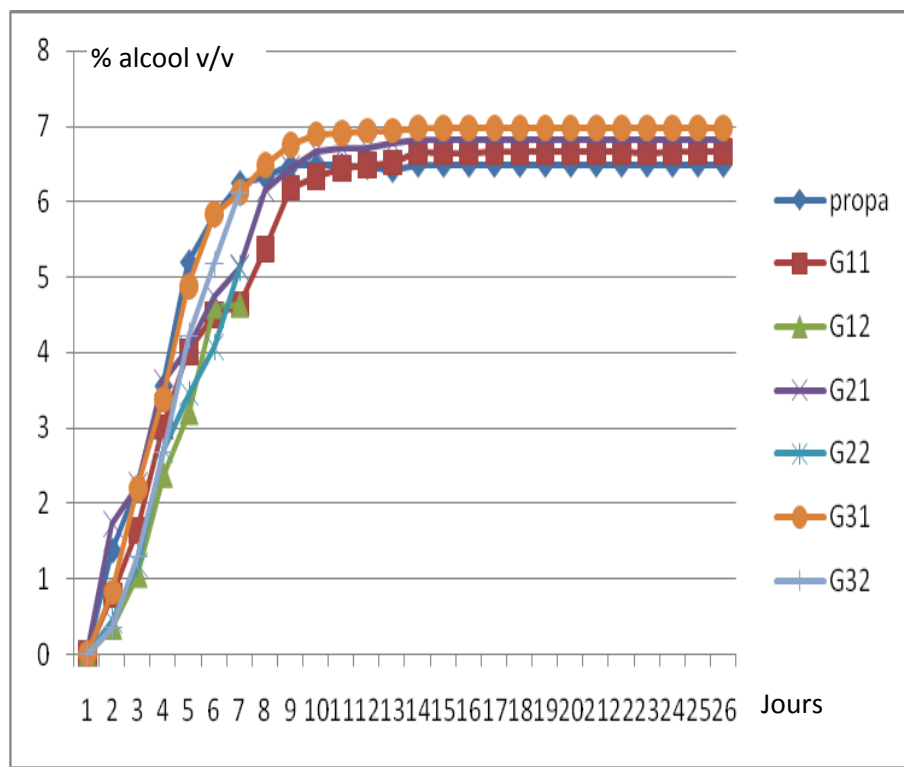


Figure 19 : Evolution du degré d'alcool série 3(propa-G32)

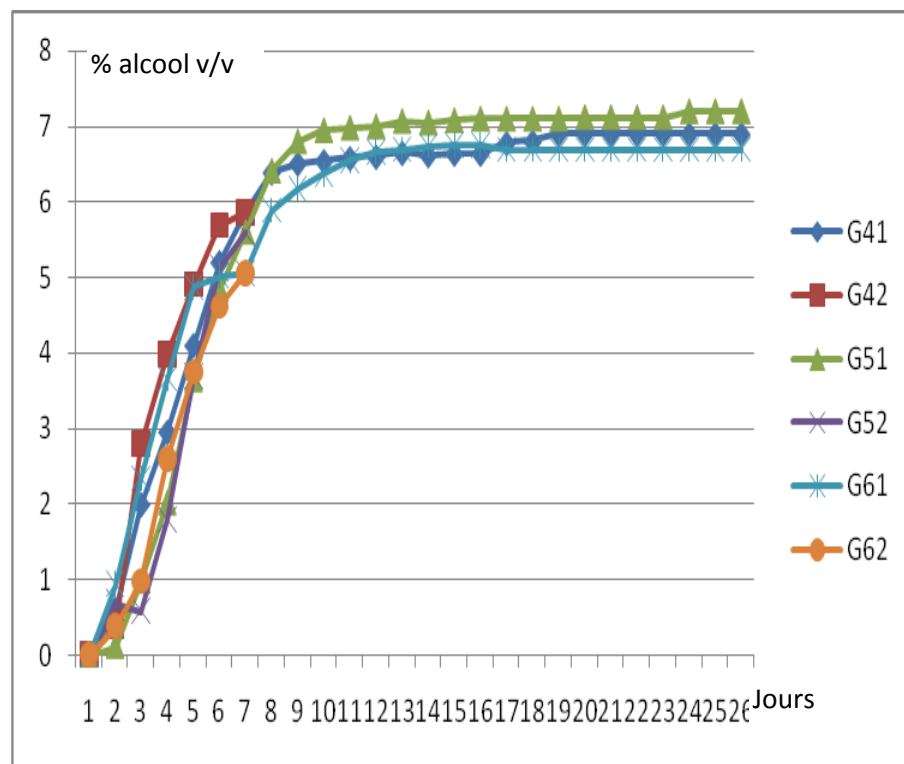


Figure 20 : Evolution du degré d'alcool série 3(G41-G61)

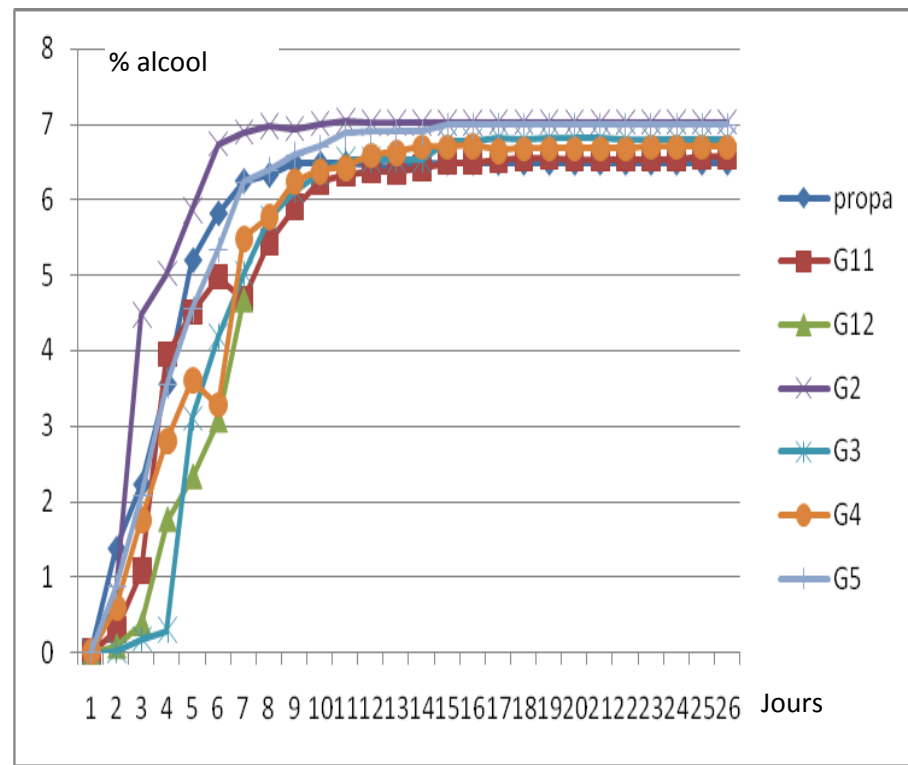


Figure 21 : Evolution du degré d'alcool série 4

II.4.2.1. Aspect général des courbes

Au cours de la fermentation principale

On remarque qu'au début de la fermentation il n'y a pas d'alcool qui apparaît vu que les levures sont en phase d'adaptation, elles ne fermentent pas, même si l'alcool apparaît, il apparaît en quantité négligeable.

Au démarrage de l'activité fermentaire la vitesse de fermentation est lente puisque la levure consacre une partie de son activité à la croissance et à la régénération. Dès que le nombre cellulaire augmente l'alcool apparaît en grande quantité, la courbe évolue de façon exponentielle. Vers la fin, la courbe reste constante vu que les substances fermentescibles sont épuisées.

Pour certaines cuves de la série 4 (G3 et G4) le pouvoir fermentaire est moins prononcé vu que la génération levurière est plus vieille et le pouvoir fermentaire diminue en fonction de l'âge des levures ou avec le stress qu'elles subissent lors de sa garde dans les levuriers.

Le taux d'alcool est relative à la quantité de sucre fermentescible existante dans le mout ce qui est remarquable entre les différentes cuves de fermentation soit à cause des matières

premières soit à la manipulation incorrecte lors du brassage ; le taux d'alcool varie entre 6 et 7 %.

Au cours de la fermentation de garde

Le taux d'alcool ne varie plus pendant cette phase à cause de l'arrêt de l'activité fermentaire, les sucres sont épuisés et les levures sont inhibées par les basses températures.

Différence des courbes

Même si l'aspect général des courbes se ressemble on constate quand même des différences et des anomalies telles que la différence entre la vitesse de formation d'alcool de la Heineken qui est fermentée à 11°C et les autres bières (13°C) qui sont plus rapides à fermenter à cause de la température plus élevée.

On voit aussi que dans la cuve G12 et G3 l'apparition de l'alcool prend plus de temps à cause du stress que subit la levure lors de son stockage et aussi au faite de la contamination du mout ; ce phénomène est aussi observé dans les cuve de la série 3 (G11/G12) (G21/G22).

On constate aussi qu'avec la prise d'âge la production de l'alcool à une vitesse plus faible et sa se constate dans la durée de la phase d'accélération qui varie ente 3-5 jours.

II.4.2.2. Conclusion

Le rendement de la fermentation est réduit avec l'âge des levures et aussi des contaminations.

II.4.3. Evolution de la population de levure

Théoriquement le développement des cellules montre une courbe de croissance bien distincte, mais dans les tanks de bière ce n'est pas le cas ; la croissance levurière ne se réfère pas à la même courbe vue leur floculation après consommation des sucres.

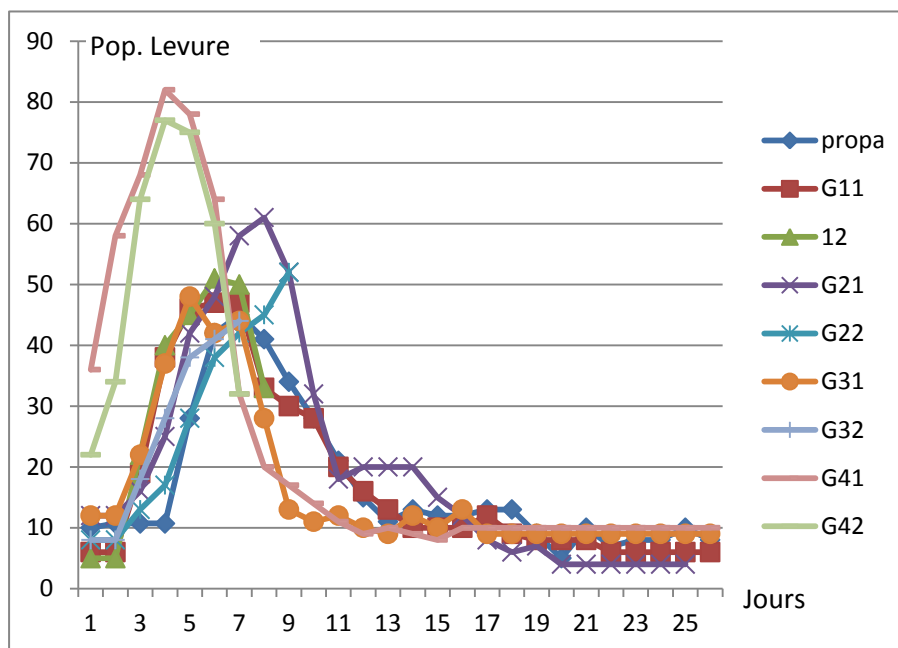


Figure 22 : Evolution de la population de levure série 1(propa-G42)

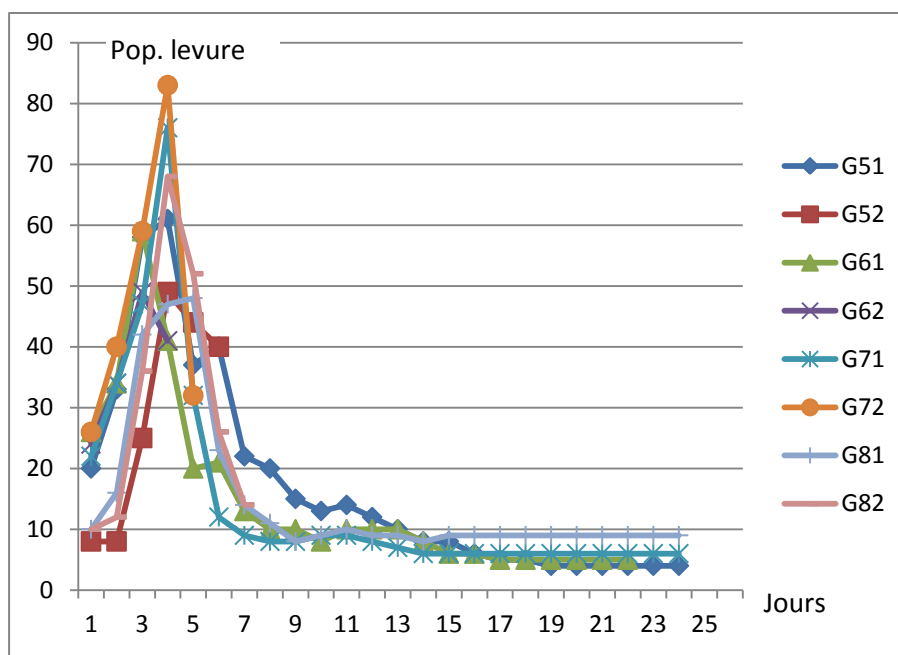


Figure 23 : Evolution de la population de levure série 1(G51-G82)

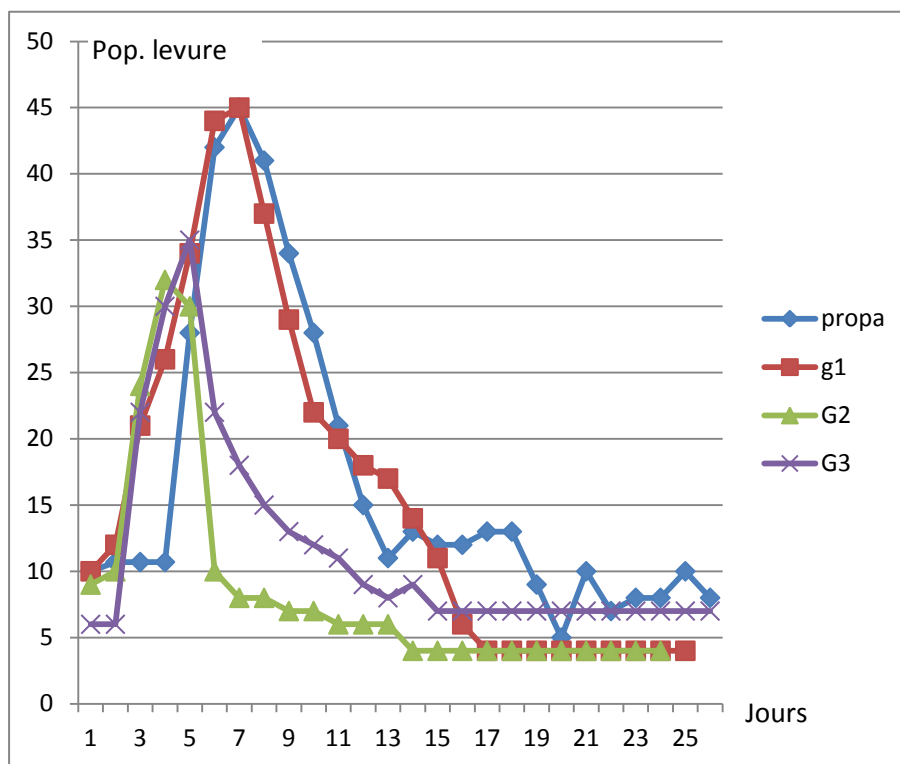


Figure 24 : Evolution de la population de levure série 2

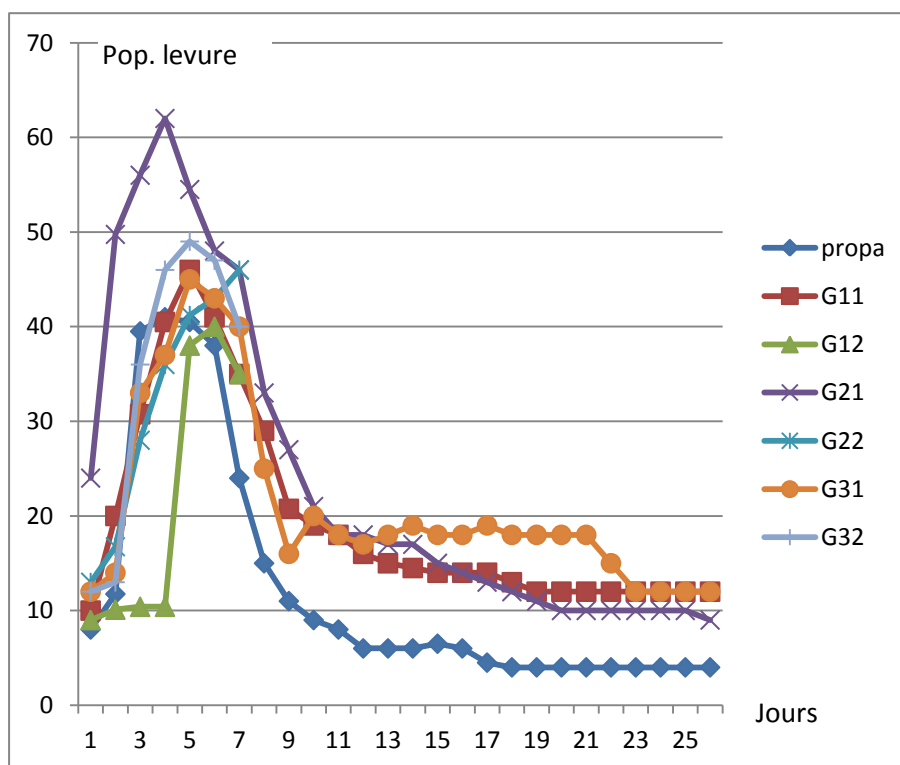


Figure 25 : Evolution de la population de levure série 3(propa-G32)

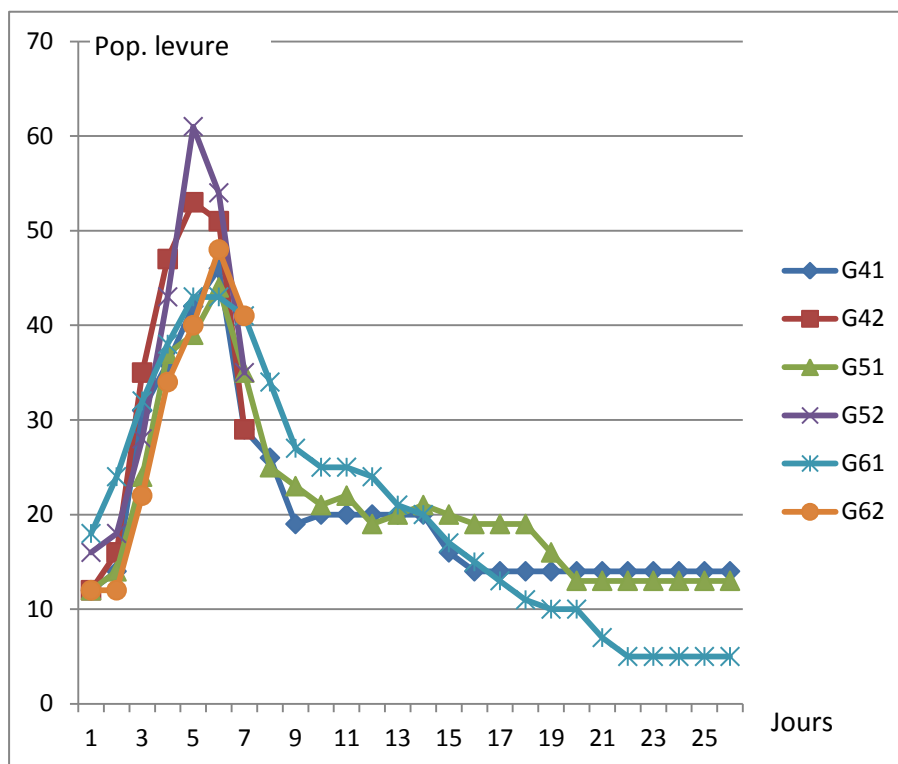


Figure 26 : Evolution de la population de levure série 3(G41-G62)

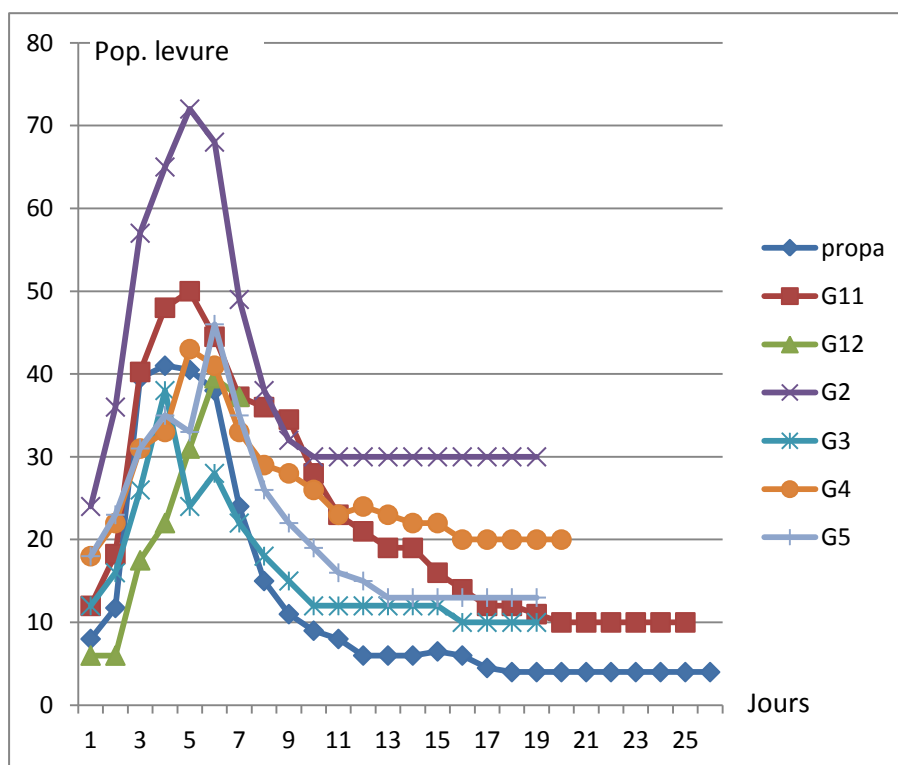


Figure 27 : Evolution de la population de levure série 4

II.4.3.1. Aspect général des courbes

Au cours de la fermentation principale

Les courbes prennent les mêmes allures de croissance, au début elles montent rapidement en phase de croissance jusqu'à un seuil maximal délimité par le nombre initial de la propagation et la température de fermentation, autant le nombre initial et la température sont élevés, autant le nombre est élevé. Dès que les nutriments sont épuisés le nombre cellulaire commence à décroître lentement c'est la phase stationnaire avec floculation. Après un certain temps la courbe chute, c'est la phase de déclin avec floculation. Les générations avancées floculent plus que les levures jeunes.

Au cours de la fermentation de garde

La croissance levurière n'est pas active puisque les levures sont inhibées par le froid, sauf dans le cas où le nombre cellulaire est trop élevé, la levure flocule vers le fond puis elle s'arrête.

Remarque

Si on prend en considération la levure posée au fond de la cuve on trouvera qu'elle se développe de la même façon que dans la courbe théorique.

Différence des courbes

Les courbes dans les cuves de propagation sont différentes et plus lentes que dans les cuves de fermentation, ceci est dû au stress au long stockage des souches et le nombre d' cellules qui n'est pas important.

On remarque aussi que certaines cuves attendent un nombre importants de cellules qui atteint les 80 par millilitre, vu que le nombreensemencé initialement est faible, il va attendre un seuil plus important, mais ça va nuire au rendement de la fermentation puisque une grande quantité de levure implique une grande consommation de sucre pour sa nutrition.

On remarque aussi dans la série1 et 3, qu'avec l'âge des levures les courbes sont différentes, la floculation est plus rapide. Mais certaines courbes ont un nombre plus important au départ mais elles n'atteignent pas une borne supérieure importante, ceci est probablement dû à la contamination bactérienne qui ralentit la multiplication des cellules puisque elle concurrence ces dernières dans les nutriments essentiels.

II.4.3.2. Conclusion

La levure flocule plus rapidement avec la prise d'âge

II.4.4. Evolution de la couleur

Les constituants de chaque produit donnent au mout une couleur spécifique, qui donnera la particularité de couleur à chaque bière. La couleur varie pendant la fermentation avec l'apparition de certains composants et la disparition d'autres composants.

La couleur des brassins diffère aussi avec la différence de caramélisation pendant le maltage, de la qualité de l'orge et de la cuisson lors du brassage. La bière perd deux unités EBC au maximum pendant la fermentation.

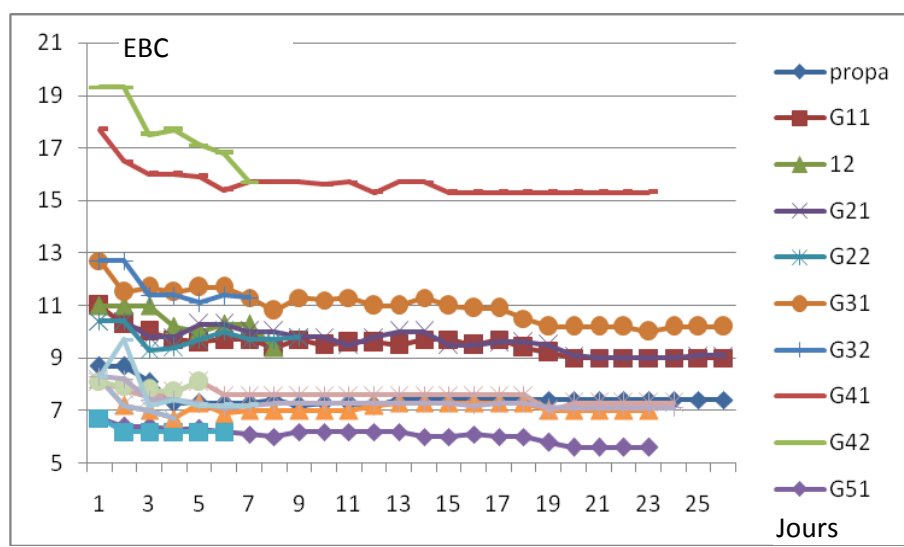


Figure 28 : Evolution De la couleur série 1

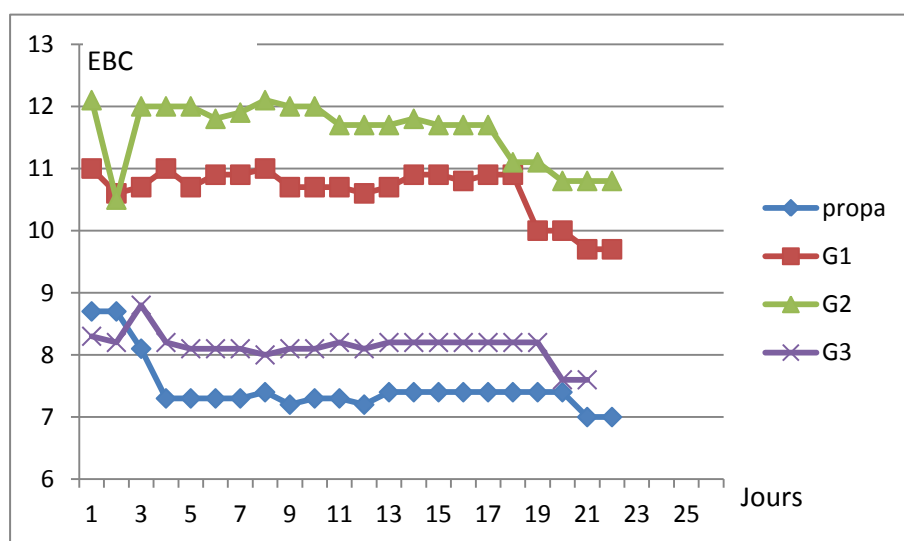


Figure 29 : Evolution De la couleur série 2

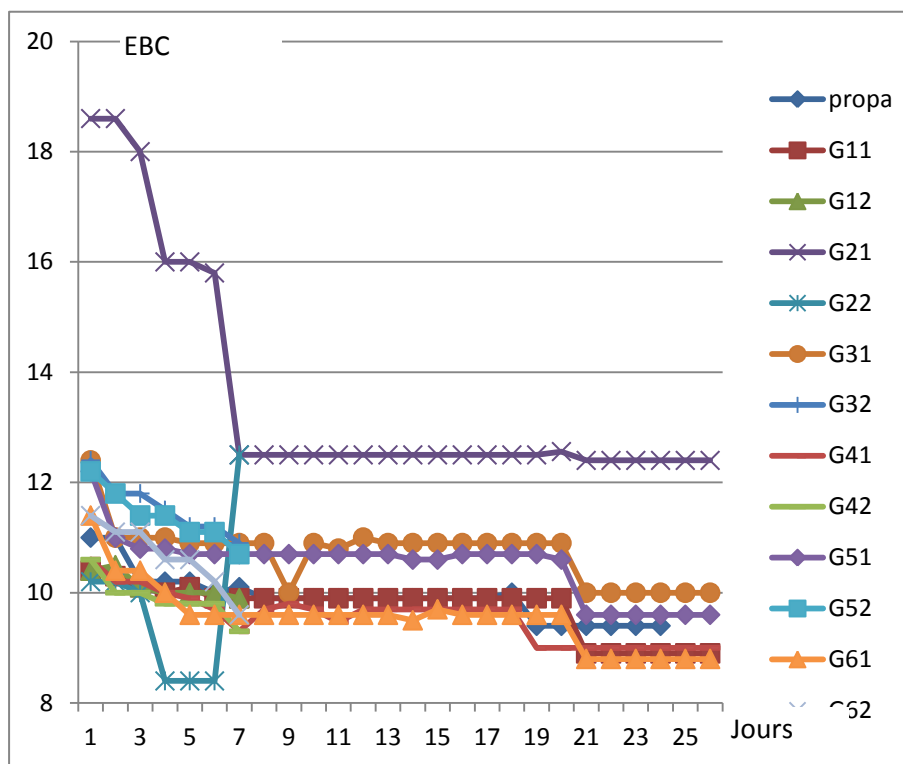


Figure 30 : Evolution De la couleur série 3

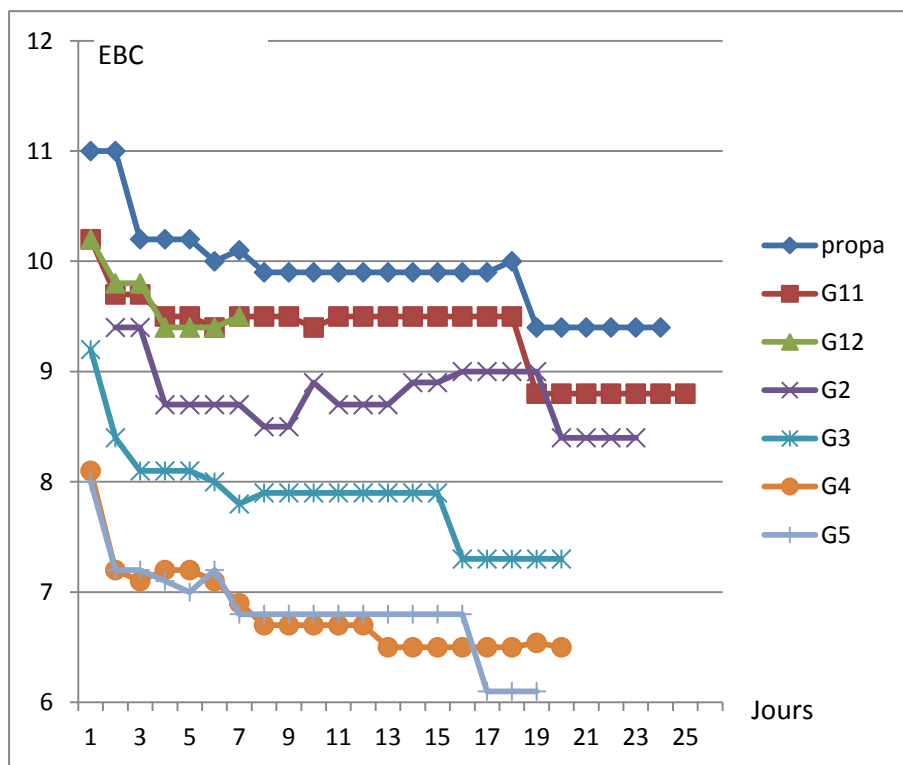


Figure 31 : Evolution De la couleur série 4

II.4.4.1. Aspect général des courbes

Au cours de la fermentation principale

La couleur du mout s'éclaircit pendant la fermentation et ceci avec l'apparition de l'alcool et l'épuisement de certains composants colorés (polyphénols)

Les courbes de couleur décroissent de la même façon que les courbes de la densité apparente, elles évoluent progressivement jusqu'à épuisement des sucres et l'apparition totale de l'alcool puis la courbe se stabilise et se maintient à une valeur constante durant le reste de la fermentation.

- La vitesse de chute de couleur est liée à la nature du mout (matières premières)

L'atténuation limite de la couleur est liée à la nature du mout et aux conditions de traitement, telle est le cas de certaines cuves (cuves de la série 1 (G41-42) , de la série 2 G2 et 3 et enfin de la série 4 cuve G12)

- La couleur initiale peut décider partiellement de la couleur finale
- La durée de fermentation n'influe pas sur les modifications de couleur.

Au cours de la fermentation de garde

En garde le mout ne subit aucune modification sur le plan de la couleur puisque aucune activité n'est enregistrée.

Différence des courbes

La seule différence remarquée est dans la série 1 cuve G41/42, dus à une erreur de brassage qui a causé une caramélisation des sucres qui implique une coloration plus intense, la couleur finale la bière dépend de la couleur initiale du mout.

II.4.4.2. Conclusion

La levure n'a aucun impact sur la couleur puisque c'est la couleur initiale qui définit la couleur finale, de même on ne remarque pas l'impact de l'effet de génération sur ce paramètre.

II.4.5. Evolution du pH

Le pH varie de telle sorte que le milieu s'acidifie et ceci est dû aux modifications biochimiques dans le mout avec la disparition des substances basiques et l'apparition de certains composants acides. La variation de pH ne dépasse jamais 1,5 unités pH, d'où l'importance du pH initial.

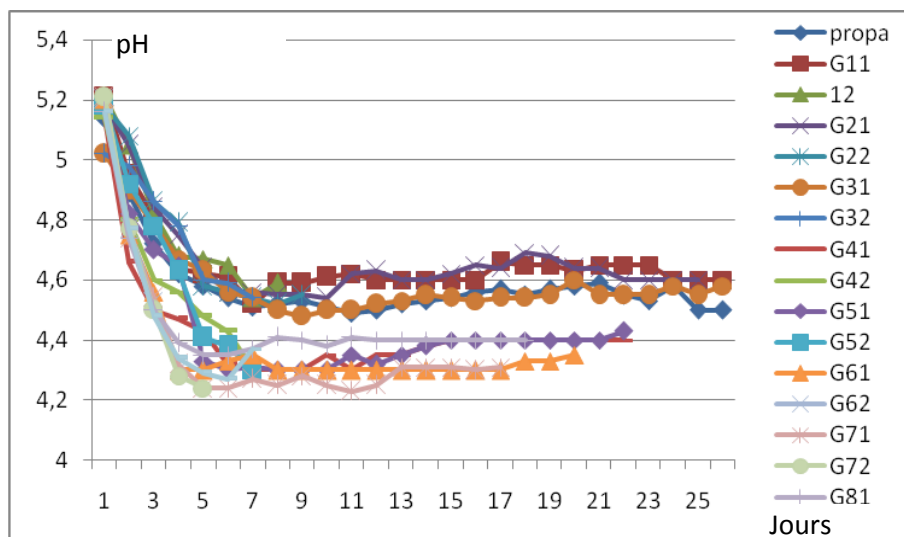


Figure 32 : Evolution du pH série 1

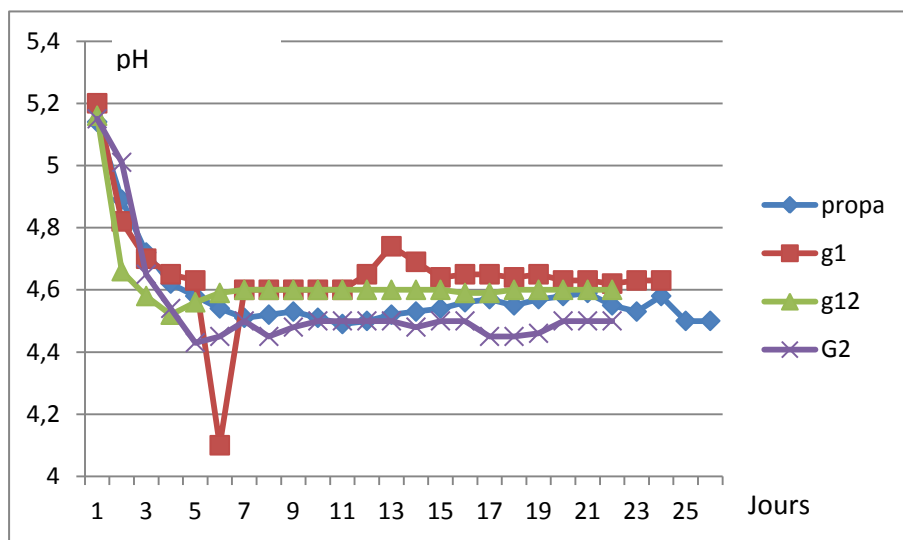


Figure 33 : Evolution du pH série 2

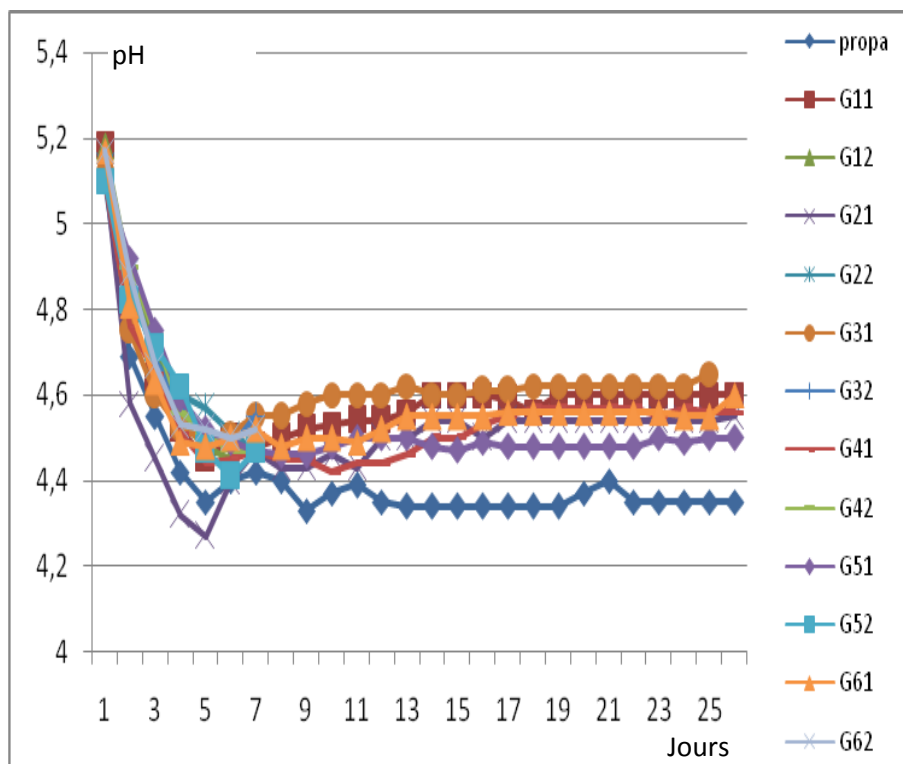


Figure 34 : Evolution du pH série 3

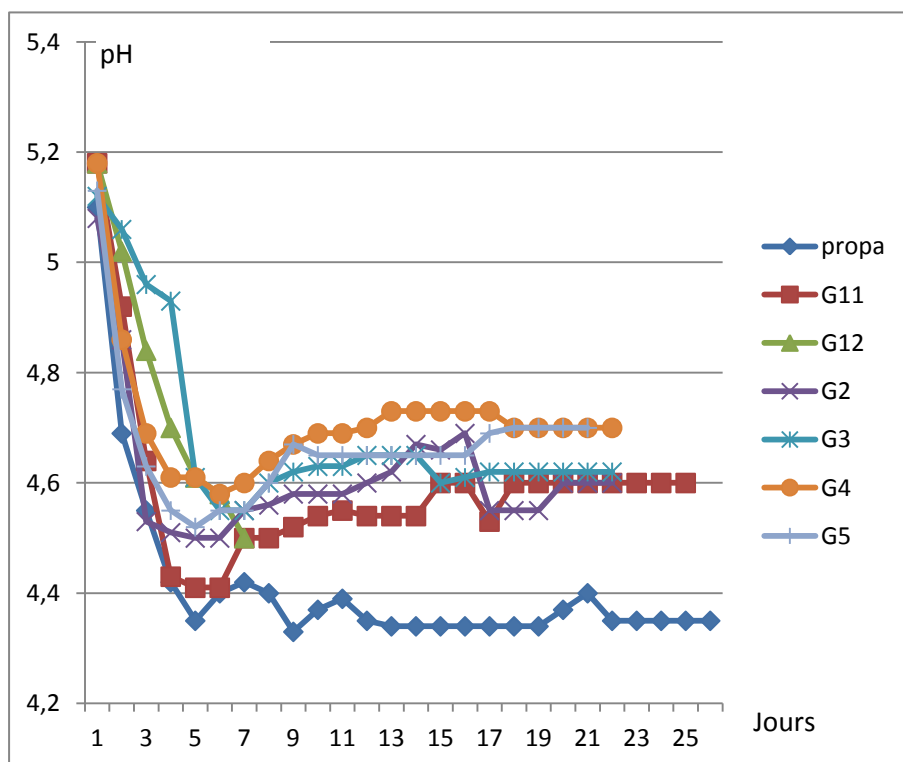


Figure 35 : Evolution du pH série 4

II.4.5.1. Aspect général des courbes

Au cours de la fermentation principale

Le pH baisse rapidement dès le premier jour puis il se maintient à une valeur constante. La diminution du pH vient avec l'épuisement des sucres et la formation de l'éthanol et de certains acides. Les acides aminés jouent un rôle de régularisateurs de pH et pour cela on mesure toujours le pouvoir tampon des brassins.

Le pH initial n'est pas le seul facteur qui décide du pH final puisque on démarre avec des pH différents et on atteint les mêmes cibles à la fin.

Au cours de la fermentation de garde

Le pH ne subit aucune variation en garde puisque on n'a aucune activité dans cette étape.

Remarque

Le PH est un facteur important pour l'activité fermentaire vue la nature de la levure et ses exigences mais c'est aussi un élément essentiel pour la saveur de la bière.

Différence des courbes

Il n'existe pas une grande différence entre les courbes du pH car l'activité de fermentation agit sur le mout de la même manière, la seule différence avec l'âge des levures c'est la baisse du pH qui devient moins importante, c'est probablement dû à la production de di-acétyle des alcools supérieures qui sera importante. On remarque entre autre que le type de mout fait en sorte que le pH varie.

II.4.5.2. Conclusion

L'âge des levures agit sur l'évolution du pH à cause des différences qui apparaissent dans les bilans de fermentation car avec l'âge elle produit plus de diacétyle et d'alcools supérieurs qui vont influencer sur le pH du milieu et aussi le stress généré par le stockage qui va affecter l'activité des levures et le risque de contamination avec.

II.4.6. La recherche des bactéries lactique et des levures sauvages

Le transfert de levure demande une certaine vigilance ainsi que son stockage. Il doit être dans des conditions d'hygiène strictes. Les prélèvements et les ensemencements sur deux milieux de culture NWLD (modified wallstrein laboratory differential agar) et le NBBA (microbiological media for the detection of beer spolingue lactic acid bacteria) aident à détecter les contaminations éventuelles.

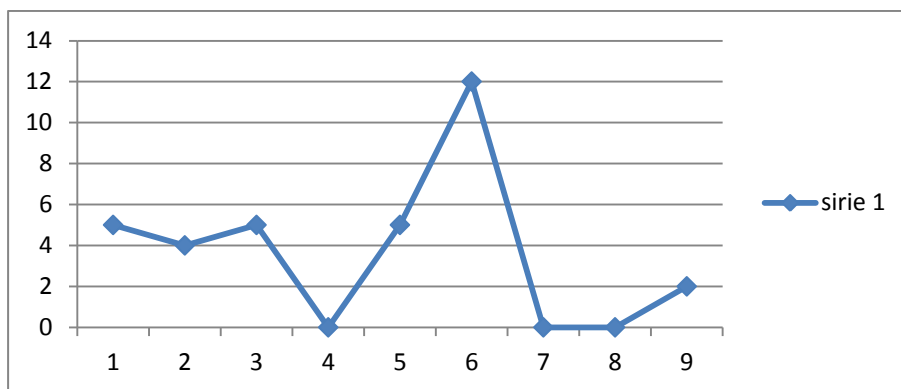


Figure 36 : Contamination des bières sur milieu NWLD de la sirie 1

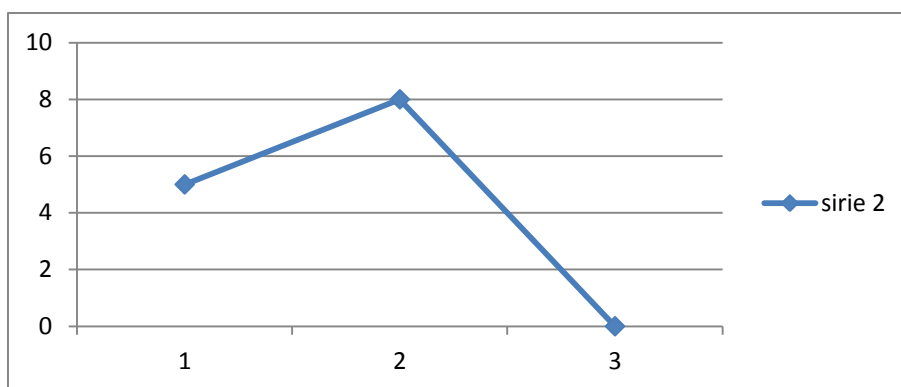


Figure 37 : Contamination des bières sur milieu NWLD de la sirie 2

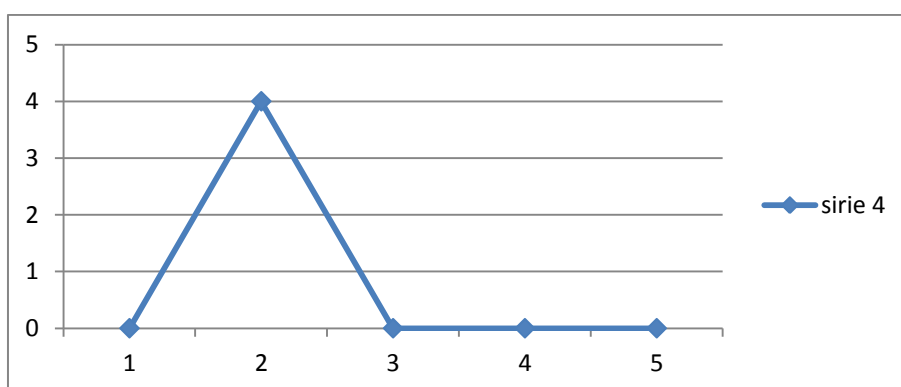


Figure 38 : Contamination des bières sur milieu NWLD de la sirie 4

II.4.6.1. Discussion des résultats

Les figures 36, 37 et 38 montrent le nombre de colonies après une culture sur gélose WNLD. On remarque une variation de contamination entre les générations de levures ce qui indique une présence de germes indésirables qui vont influencer l'activité des levures et qui vont fausser les fermentations, mais on remarque l'arrêt de l'évolution de ces germes dû au refroidissement des cuves qui va les inhiber puis leur retours dans une cuve ultérieure ce qui est le signe de leur persistance dans l'avancement des générations. Par contre sur une gélose NBBA on n'a constaté aucune activité microbienne dans toutes les séries. Ça prouve qu'il n'y a pas présence de bactéries lactiques qui sont des bactéries anaérobies, à cause de la bonne hygiène des équipements et de la présence de l'oxygène qui ne leur donne pas l'opportunité de se développer.

II.4.6.2. Conclusion

Le stockage et la manipulation des levures causent un grand risque de contamination bactérienne.

Conclusion générale

L'étude que nous avons réalisé sur l'évolution des paramètres physico-chimiques lors de la fermentation dans les bières de nos quatre séries pour différentes bières nous a permis de constater les faits suivants :

- La nature du mout et des matières premières ont une influence majeure sur la nature et la qualité du produit fini
- La conduite du brassage a une influence majeure sur la qualité du produit fini
- Les paramètres physiques ont une très grande influence sur la qualité du produit fini

Le choix des souches et la conservation et réutilisation des levures sont importantes pour une fermentation réussie et saine car le stress et le long usage de cette dernière a des conséquences néfastes sur le déroulement de la fermentation même si on n'a pas pu prouver cet état de fait dans notre étude mais on peut bien remarquer que la levure s'affaiblie avec la prise d'âge, le risque d'avoir une fermentation avec production de di acétyle élevé et celui de mutation des levures sont omniprésents.

On doit aussi pousser la recherche dans ce créneau pour bien connaître toute les contraintes liées à la réutilisation des levures et pousser leurs capacités pour un bénéfice qualitatif, économique et environnementale.

A l'issu de cette étude on conclut que la bonne gestion des paramètres physiques et des matières premières avec une manipulation saine de la levure aboutissent à un bon déroulement de la fermentation et une qualité meilleure du produit fini.

Références bibliographiques

- 1-AHMANE. M. et YAHYIAOUI A.; MFE -étude de la stabilité d'une bière type super, UMBB 2004 (DTA).
- 2-ANNOU S. Cours de microbiologie, UMBB 2005.
- 3-AYRAPAA -formation des alcools supérieurs par les amino acides. Journal de l'institut de brasserie 33page 1967
- 4-BOTTON, La physiologie des levures dans la biotechnologie des levures, paris 1991.
- 5-BOURGEOIS CM., LARPEN JP. Microbiologie alimentaire; aliment et fermentation alimentaires. France 523 page1996.
- 6-DUBOIS L.A. et LEMAIRE A., La fermentation; université catholique de Louvain, 2003
- 7-VIERLING E., Aliments et boissons, filières et produits. France 270 page 2004
- 8-ENCYCLOPEDIE ENCARTA ; collection Microsoft 4cd 2006
- 9-INSERM. Alcool effets sur la santé; enquête INSERM 360 page 2001
- 10-GUIRAUD J.P. MICROBIOLOGIE ALIMENTAIRE. PARIS 652 page 1998
- 11-SAIDANI A. et MEZIANI AEH. MFE étude de l'évolution des iso- α acide au cours de la fabrication d'une bière; UMBB 2005.
- 12-TECHNIQUE DE L'INGENIEUR, Elaboration des malts utilisés en brasserie. malteurop
- 13-BOUIX M., LEVEAU J.Y. Rôle des microorganismes dans la flaveur des aliments 1 /boisson fermentées bière. vin. Cidre. 80 page.1977.
- 14-TORTURA G.J., FUNKE B.R., LICASE C. Introduction à la microbiologie. Adaptation en français par Louis Martin 2^{ème} Edition 2010.
- 15- MUTON J.L., MOLLE M. Bières alcoolisées à faible teneur ou bières sans alcool. 512 pages, Lavoisier 1991.
- 16-CHILLET P. Opération unitaire en génie biologique 3- la fermentation - Centre régionale de documentation pédagogique d'Aquintaine. 111 pages 2011.
- 17-TAYEB KACI AE. MFE Etude de l'effet de quelques fongicides viticoles sur la croissance des sacharomyces. 1994 ENSA 51 pages.
- 18-MAYER A., DIANA J., BERNARD A. Cours de microbiologie générale avec problèmes et exercices corrigés. 426 pages 2008



Tableau de résultats de l'évolution de la densité apparente série 1

	Heineken									SAFITA		mudzingue						
jour	propa	G11	12	G21	G22	G31	G32	G41	G42	G51	G52	G61	G62	G71	G72	G81	G82	
0	15,3	14,9	14,9	14,9	14,9	15	15	14,7	14,7	14,9	14,9	15	15	14,78	14,78	15	15	
1	13,37	14,27	14,32	14,5	14,6	14,4	14,25	11,24	12,99	14,21	14,02	13,61	13,57	13,27	13,28	13,37	13,47	
2	12,95	13,23	13,31	13,69	13,74	13,81	13,56	8,78	10,16	12,54	13,26	10,62	10,34	10,77	1,52	10,23	10,42	
3	12,55	11,07	12,34	12,86	13,26	12,89	13,02	6,32	8,01	11,3	12,67	6,01		6,35	5,9	7,16	7,24	
4	11,39	10,55	11,12	10,62	11,38	10,63	11,21	4,4	5,58	8,04	6,68	3,27		3,2		5,03	5,08	
5	10,23	10,24	10,37	8,85	9,7	5,45	8,96	3,08	3,77	6,25		2,33		2,44		3,62	3,71	
6	9,36	6,16	6,63	7,32	8,19	5,71		2,98		4,06		2,3		2,36		2,71		
7	9,01	5,16		6,22	7,42	4,24		2,81		3,03		2,3		2,31		2,05		
8	8,55	4,23		5,44		3,44		2,77		2,7		2,3		2,28		2,08		
9	7,42	3,64		4,82		3,23		2,7		2,52		2,3		2,25		2,1		
10	6,24	3,32		4,16		3,12		2,7		2,41		2,3		2,24		2,1		
11	6	2,87		3,55		3		2,7		2,3		2,3		2,23		2,1		
12	5,75	2,8		3,51		3		2,7		2,3		2,3		2,22		2,1		
13	5,17	2,8		3,46		2,95		2,7		2,35		2,3		2,21		2,1		
14	4,43	2,77		3,23		2,9		2,6		2,37		2,3		2,2		2,1		
15	3,98	2,72		3,15		2,87		2,6		2,4		2,3		2,21		2,15		
16	3,54	2,7		3,1		2,83		2,6		2,4		2,3		2,21		2,14		
17	3,31	2,7		3,09		2,8		2,6		2,4		2,27		2,21		2,14		
18	2,88	2,7		3,07		2,8		2,6		2,4		2,2		2,21				
19	2,72	2,7		3,07		2,8		2,6		2,4		2						
20	2,66	2,88		3,1		2,8		2,63		2,4								
21	2,65	2,84		3,1		2,8		2,63		2,3								
22	2,6	2,84		3,1		2,8		2,6		2,3								
23	2,6	2,84		3,1		2,8		2,6		2,3								
24	2,6	2,8		3,1		2,8		2,6		2,3								
25	2,6	2,8				2,8		2,6		2,3								
Propa : propagation G : génération																		



Tableau de résultats de l'évolution de la densité apparente série 2

	Heineken	SAFITA		
jour	propa	g1	G2	G3
0	15,3	14	15,16	15,1
1	13,37	12,62	14,54	14,5
2	12,95	11,34	10,11	12,3
3	12,55	9,52	5,11	10,52
4	11,39	7,28	4,16	4,32
5	10,23	5,49	3,72	2,91
6	9,36	3,44	3,19	2,78
7	9,01	3,3	2,96	2,71
8	8,55	3,2	2,87	2,7
9	7,42	3,2	2,78	2,7
10	6,24	3,19	2,78	2,69
11	6	2,88	2,61	2,6
12	5,75	2,65	2,66	2,54
13	5,17	2,95	2,61	2,51
14	4,43	2,89	2,61	2,5
15	3,98	2,88	2,61	2,5
16	3,54	2,88	2,6	2,5
17	3,31	2,88	2,6	2,5
18	2,88	2,88	2,6	2,48
19	2,72	2,88		
20	2,66	2,88		
21	2,65			
22	2,6			
23	2,6			
24	2,6			
25	2,6			
Propa : propagation G : génération				



Tableau de résultats de l'évolution De La Densité Apparente série 3

	Heineken												
jour	propa	G11	G12	G21	G22	G31	G32	G41	G42	G51	G52	G61	G62
0	14,7	14,5	14,5	14,9	14,9					15,3	15,3	15,05	15,05
1	11,5	13,18	13,43	11,36	13,96	14,07	14,12	13,64	13,77	14,59	14,08	13,37	14,09
2	10,97	11,3	11,99	8,61	12,13	11,73	12,26	11,89	12,03	13,14	13,45	11,52	12,25
3	7,48	8,99	9,55	6,23	10,78	9,55	9,92	9,42	9,06	12,08	12,02	8,06	9,76
4	4,44	7,25	7,63	3,43	8,64	8,39	8,5	7,18	7,21	9,18	8,46	6,2	8,1
5	3,21	6,64	6,24	3,29	6,21	6,12	6,29	6,08	6,18	6,9	5,88	5,61	6,31
6	2,36	5,56		3,21		4,01		3,83		5,22		5,37	
7	2,11	4,11		3,3		3,35		3,02		4,08		4,02	
8	2,08	2,79		2,64		2,95		2,69		3,01		3,41	
9	2,06	2,48		2,39		2,6		2,6		2,88		3,02	
10	2,06	2,37		2,37		2,54		2,54		2,82		2,46	
11	2,04	2,28		2,28		2,51		2,49		2,68		2,35	
12	2,02	2,21		2,22		2,5		2,4		2,59		2,32	
13	2	2,15		2,09		2,5		2,3		2,56		2,24	
14	2	2,15		2,15		2,5		2,35		2,5		2,18	
15	2,02	2,12		2		2,5		2,18		2,4		2,13	
16	2,01	2,1		2,15		2,5		2,16		2,34		2,25	
17	2	2,1		2,1		2,5		2,14		2,28		2,3	
18	2	2,1		2,1		2,5		2,1		2,28		2,4	
19	2	2,1		2,1		2,5		2,14		2,3		2,4	
20	2	2,1		2,1		2,5		2,14		2,24		2,4	
21	2	2,1		2,1		2,5		2,14		2,25		2,4	
22	2	2,1		2,1				2,14		2,25		2,44	
23	2	2,1		2,07				2,14		2,01		2,4	
24	2	2,1		2,07				2,14		2		2,4	
25				2,1						2		2,4	
Propa : propagation G : génération													



Tableau de résultats de l'évolution De La Densité Apparente série 4

	Heineken			SAFITA			
jour	propa	G11	G12	G2	G3	G4	G5
0	14,7	14,14	14,14	14,5	15,15	14,8	15,4
1	11,5	13,49	13,41	13,4	14,9	13,71	13,9
2	10,97	12,01	13,23	8,13	14,58	11,33	11,44
3	7,48	6,69	12,43	5,08	14,45	9,43	8,92
4	4,44	6,02	9,76	3,3	10,32	8,02	7,14
5	3,21	5,23	8,13	2,34	7,21	6,69	5,64
6	2,36	4,7		2,2	5,66	4,39	3,74
7	2,11	3,93		2,11	4,23	3,78	3,5
8	2,08	2,91		2,09	3,56	3,2	3,35
9	2,06	2,44		2,05	3,32	3,01	3,13
10	2,06	2,31		2	3,01	2,86	2,88
11	2,04	2,25		2	2,81	2,7	2,64
12	2,02	2,2		2	2,65	2,54	2,41
13	2	2,18		2	2,58	2,48	2,32
14	2	2,12		1,94	2,54	2,42	2,09
15	2,02	2,09		1,94	2,54	2,42	1,9
16	2,01	2,05		1,93	2,53	2,37	1,88
17	2	2,05		1,93	2,5	2,3	1,9
18	2	2,1		1,93	2,5	2,3	1,9
19	2	2,1		1,93	2,5	2,3	1,9
20	2	2,1		1,93	2,5	2,3	1,9
21	2	2,1		1,93	2,5	2,3	1,9
22	2	2,1			2,5		
23	2	2,05					
24	2	2,01					
25							
Propa : propagation G : génération							



Tableau de résultats de l'évolution de l'alcool série 1

	Heineken									SAFITA								
jour	propa	G11	12	G21	G22	G31	G32	G41	G42	G51	G52	G61	G62	G71	G72	G81	G82	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0,98	0,22	0,12	0,23	0,45	0,24	0,48	1,85	0,75	0,82	0,12	0,76	0,75	0,7	0,68	0,83	0,66	
2	1,46	0,83	0,49	0,86	0,82	1,13	1,18	3,02	1,83	1,52	0,43	2,32	2,48	2,12	2,16	2,45	2,15	
3	2,03	1,94	0,89	1,07	0,99	1,68	1,59	4,55	3,37	2,37	0,9	4,73		4,24	4,54	4,06	3,92	
4	2,65	2,12	1,81	2,33	1,72	3,89	3,95	5,47	4,59	3,48	2,08	6,35		5,83		5,16	5,03	
5	3,17	2,36	2,21	3,36	2,63	5,08	2,76	6,29	5,59	4,44		6,88		6,34		5,99	5,71	
6	3,69	4,69	4,37	4,09	3,52	4,65		6,33		5,59		6,78		6,43		6,49		
7	4,02	5,07		4,12	4,22	5,36		6,28		6,13		6,81		6,48		6,48		
8	4,27	5,63		4,71		5,84		6,35		6,36		6,85		6,49		6,54		
9	4,81	5,93		5,31		6,01		6,35		6,37		6,54		6,48		6,52		
10	5,12	6,08		5,76		6,12		6,35		6,38		6,58		6,52		6,61		
11	5,33	6,31		6,04		6,13		6,37		6,35		6,67		6,55		6,65		
12	5,54	6,29		6,08		6,22		6,31		6,36		6,67		6,57		6,62		
13	5,58	6,31		6,16		6,27		6,35		6,38		6,67		6,57		6,69		
14	5,64	6,33		6,23		6,28		6,32		6,38		6,67		6,57		6,69		
15	5,78	6,36		6,36		6,28		6,32		6,38		6,67		6,57		6,69		
16	6,79	6,36		6,33		6,31		6,3		6,38		6,67		6,57		6,69		
17	6,83	6,42		6,32		6,32		6,36		6,38		6,67		6,57		6,69		
18	6,91	6,45		6,36		6,37		6,36		6,38		6,67		6,57		6,69		
19	6,92	6,45		6,35		6,3		6,36		6,38		6,67		6,57		6,69		
20	6,94	6,45		6,35		6,37		6,36		6,38		6,67		6,57		6,69		
21	6,94	6,45		6,35		6,37		6,36		6,38		6,67		6,57		6,69		
22	6,94	6,45		6,35		6,37		6,36		6,38		6,67		6,57		6,69		
23	6,97	6,45		6,35		6,37		6,36		6,38		6,6		6,57		6,69		
24	6,67	6,45		6,35		6,35		6,36		6,38		6,67		6,57		6,69		
25	6,97	6,45		6,35		6,37		6,36		6,38		6,67		6,57		6,69		
Propa : propagation G : génération																		



Tableau de résultats de l'évolution De L'alcool série 2

	Heineken	SAFITA		
jour	propa	G1	G2	G3
0	0	0	0	0
1	0,98	0,72	0,27	0,15
2	1,46	1,43	2,35	1,26
3	2,03	2,41	5,04	3,99
4	2,65	3,65	5,44	5,7
5	3,17	4,66	5,86	6,43
6	3,69	5,36	6,14	6,43
7	4,02	5,42	6,29	6,59
8	4,27	5,58	6,31	6,65
9	4,81	5,65	6,45	6,79
10	5,12	5,89	6,28	6,79
11	5,33	6	6,5	6,81
12	5,54	6,01	6,5	6,81
13	5,58	6,05	6,54	6,81
14	5,64	6,09	6,54	6,81
15	5,78	6,07	6,54	6,81
16	6,79	6,07	6,54	6,81
17	6,83	6,08	6,54	6,81
18	6,91	6,08	6,54	6,81
19	6,92	6,08	6,54	6,81
20	6,94	6,08	6,54	6,81
21	6,94	6,08	6,54	6,81
22	6,94	6,08	6,54	6,81
23	6,97	6,08	6,54	6,81
24	6,67	6,08	6,54	6,81
25	6,97	6,08	6,54	6,81
Propa : propagation G : génération				



Tableau de résultats de l'évolution de l'alcool série 3

	Heineken												
jour	propa	G11	G12	G21	G22	G31	G32	G41	G42	G51	G52	G61	G62
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1,37	0,77	0,36	1,73	0,44	0,82	0,36	0,6	0,37	0,12	0,7	0,94	0,38
2	2,22	1,64	1,05	2,24	1,18	2,2	1,3	1,99	2,79	0,98	0,59	2,34	0,98
3	3,55	3,01	2,38	3,61	2,71	3,38	2,69	2,95	3,98	2,02	1,8	3,66	2,6
4	5,19	4	3,21	4,06	3,46	4,88	4,23	4,1	4,91	3,65	3,7	4,88	3,75
5	5,81	4,49	4,62	4,75	4,08	5,84	5,19	5,2	5,69	4,85	5,12	5,03	4,62
6	6,24	4,64		5,13		6,12		5,86		5,6		5,06	
7	6,32	5,36		6,17		6,49		6,39		6,41		5,89	
8	6,47	6,18		6,44		6,75		6,51		6,8		6,18	
9	6,47	6,32		6,68		6,9		6,54		6,95		6,37	
10	6,47	6,43		6,71		6,91		6,58		6,98		6,55	
11	6,45	6,48		6,71		6,94		6,6		7		6,67	
12	6,41	6,51		6,78		6,94		6,65		7,07		6,7	
13	6,48	6,65		6,82		6,98		6,62		7,05		6,74	
14	6,48	6,64		6,82		6,98		6,64		7,08		6,76	
15	6,48	6,64		6,82		6,98		6,64		7,1		6,76	
16	6,48	6,66		6,82		6,98		6,78		7,1		6,7	
17	6,48	6,66		6,82		6,98		6,8		7,1		6,7	
18	6,48	6,66		6,82		6,98		6,9		7,1		6,7	
19	6,48	6,66		6,82		6,98		6,9		7,12		6,7	
20	6,48	6,65		6,82		6,98		6,9		7,12		6,7	
21	6,48	6,65		6,82		6,98		6,9		7,12		6,7	
22	6,48	6,64		6,82		6,98		6,9		7,12		6,7	
23	6,48	6,66		6,83		6,98		6,9		7,2		6,7	
24	6,48	6,66		6,83		6,98		6,9		7,2		6,7	
25	6,48	6,66		6,83		6,98		6,9		7,2		6,7	
Propa : propagation G : génération													



Tableau de résultats de l'évolution de l'alcool série 4

	Heineken			SAFITA			
jour	propa	G11	G12	G2	G3	G4	G5
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1,37	0,3	0,08	0,79	0,02	0,59	0,86
2	2,22	1,07	0,38	4,48	0,17	1,75	2,07
3	3,55	3,94	1,76	5,02	0,3	2,8	3,54
4	5,19	4,5	2,33	5,86	3,1	3,61	4,55
5	5,81	4,97	3,08	6,74	4,18	3,28	5,34
6	6,24	4,68		6,9	5,02	5,49	6,24
7	6,32	5,43		6,98	5,74	5,77	6,4
8	6,47	5,89		6,94	6,11	6,24	6,6
9	6,47	6,23		7,01	6,35	6,38	6,71
10	6,47	6,33		7,05	6,52	6,43	6,87
11	6,45	6,38		7,02	6,52	6,59	6,9
12	6,41	6,37		7,02	6,52	6,62	6,9
13	6,48	6,41		7,02	6,52	6,7	6,9
14	6,48	6,49		7,02	6,78	6,7	6,98
15	6,48	6,49		7,02	6,78	6,72	6,98
16	6,48	6,52		7,03	6,82	6,65	6,99
17	6,48	6,54		7,03	6,8	6,68	6,99
18	6,48	6,55		7,03	6,81	6,68	6,99
19	6,48	6,53		7,03	6,81	6,68	6,99
20	6,48	6,53		7,03	6,81	6,68	6,99
21	6,48	6,53		7,03	6,8	6,68	6,99
22	6,48	6,53		7,03	6,8	6,7	6,99
23	6,48	6,53		7,03	6,8	6,7	6,99
24	6,48	6,57		7,03	6,8	6,7	6,99
25	6,48	6,57		7,03	6,8		
Propa : propagation G : génération							





Tableau de résultats de la population de leueur série 1

	Heineken									SAFITA							
jour	propa	G11	12	G21	G22	G31	G32	G41	G42	G51	G52	G61	G62	G71	G72	G81	G82
0	10	6	5	12	8	12	8	36	22	20	8	26	24	22	26	10	10
1	10,7	6	5	12	8	12	8	58	34	33	8	34	34	34	40	16	12
2	10,7	19	22	16	13	22	18	68	64	58	25	59	49	47	59	42	36
3	10,7	38	40	25	17	37	28	82	77	61	49	41		76	83	47	68
4	28	46	45	42	28	48	38	78	75	37	44	20		32		48	52
5	42	47	51	48	38	42	41	64	60	40		21		12		23	26
6	45	47	50	58	42	44		32		22		13		9		14	
7	41	33		61	45	28		20		20		10		8		11	
8	34	30		52		13		17		15		10		8		8	
9	28	28		32		11		14		13		8		9		9	
10	21	20		18		12		11		14		10		9		10	
11	15	16		20		10		9		12		10		8		9	
12	11	13		20		9		10		10		10		7		9	
13	13	10		20		12		9		8		8		6		8	
14	12	10		15		10		8		8		6		6		9	
15	12	10		12		13		10		6		6		6		9	
16	13	12		8		9		10		5		5		6		9	
17	13	9		6		9		10		5		5		6		9	
18	9	8		7		9		10		4		5		6		9	
19	5	8		4		9		10		4		5		6		9	
20	10	8		4		9		10		4		5		6		9	
21	7	6		4		9		10		4		5		6		9	
22	8	6		4		9		10		4				6		9	
23	8	6		4		9		10		4				6		9	
24	10	6		4		9		10									
25	8	6				9		10									
Propa : propagation G : génération																	



Tableau de résultats de l'évolution de la population de leueur série 2

	Heineken	SAFITA		
jour	propa	g1	G2	G3
1	10,7	12	10	6
2	10,7	21	24	22
3	10,7	26	32	30
4	28	34	30	35
5	42	44	10	22
6	45	45	8	18
7	41	37	8	15
8	34	29	7	13
9	28	22	7	12
10	21	20	6	11
11	15	18	6	9
12	11	17	6	8
13	13	14	4	9
14	12	11	4	7
15	12	6	4	7
16	13	4	4	7
17	13	4	4	7
18	9	4	4	7
19	5	4	4	7
20	10	4	4	7
21	7	4	4	7
22	8	4	4	7
23	8	4	4	7
24	10	4		7
25	8			7
Propa : propagation G : génération				



Tableau de résultats De La Population De Leveur série 3

	Heineken												
jour	propa	G11	G12	G21	G22	G31	G32	G41	G42	G51	G52	G61	G62
0	8	10	9	24	13	12	12	12	12	12	16	18	12
1	11,75	20	10,1	49,75	16,75	14	13	14	16	14	18	24	12
2	39,5	30,75	10,4	56	28	33	36	31	35	24	28	32	22
3	41	40,5	10,4	62	36	37	46	36	47	37	43	38	34
4	40,5	46	38	54,5	41,2	45	49	42	53	39	61	43	40
5	38	41	40	48	43	43	47	46	51	44	54	43	48
6	24	35		46		40		29		35		41	
7	15	29		33		25		26		25		34	
8	11	20,75		27		16		19		23		27	
9	9	19		21		20		20		21		25	
10	8	18		18		18		20		22		25	
11	6	16		18		17		20		19		24	
12	6	15		17		18		20		20		21	
13	6	14,5		17		19		20		21		20	
14	6,5	14		15		18		16		20		17	
15	6	14		14		18		14		19		15	
16	4,5	14		13		19		14		19		13	
17	4	13		12		18		14		19		11	
18	4	12		11		18		14		16		10	
19	4	12		10		18		14		13		10	
20	4	12		10		18		14		13		7	
21	4	12		10		15		14		13		5	
22	4	12		10		12		14		13		5	
23	4	12		10		12		14		13		5	
24	4	12		10		12		14		13		5	
25	4	12		9		12		14		13		5	
Propa : propagation G : génération													



Tableau de résultats De La Population De Leveur série 4

	Heineken			SAFITA			
jour	Propa	G11	G12	G2	G3	G4	G5
1	11,75	18,25	6	36	16	22	23
2	39,5	40,25	17,5	57	26	31	31
3	41	48	22	65	38	33	35
4	40,5	50	31	72	24	43	33
5	38	44,5	39,5	68	28	41	46
6	24	37,25		49	22	33	35
7	15	36		38	18	29	26
8	11	34,5		32	15	28	22
9	9	28		30	12	26	19
10	8	23		30	12	23	16
11	6	21		30	12	24	15
12	6	19		30	12	23	13
13	6	19		30	12	22	13
14	6,5	16		30	12	22	13
15	6	14		30	10	20	13
16	4,5	12		30	10	20	13
17	4	12		30	10	20	13
18	4	11		30	10	20	13
19	4	10				20	
20	4	10					
21	4	10					
22	4	10					
23	4	10					
24	4	10					
25	4						
Propa : propagation G : génération							



Tableau de résultats de l'évolution De la couleur série 1

	Heineken									SAFITA								
jour	propa	G11	12	G21	G22	G31	G32	G41	G42	G51	G52	G61	G62	G71	G72	G81	G82	
0	8,7	11	11	10,4	10,4	12,7	12,7	17,7	17,7	6,7	6,7	8,2	8,2	8,11	8,11	8,3	8,3	
1	8,7	10,3	11	10,4	10,4	11,5	12,7	16,5	19,3	6,4	6,2	7,2	7,2	7,8	7,9	8,2	9,7	
2	8,1	10	11	9,8	9,3	11,7	11,4	16	17,5	6,4	6,2	7	7	7,5	7,8	7,4	7,2	
3	7,3	9,7	10,2	9,8	9,4	11,5	11,4	16	17,7	6,3	6,2	6,7		7,7	7,7	7,4	7,4	
4	7,3	9,6	10	10,3	9,7	11,7	11,1	15,9	17,1	6,3	6,2	7,3		8,1		7,3	7,2	
5	7,3	9,7	10,3	10,3	10	11,7	11,4	15,4	16,8	6,2		6,9		7,6		7,1	7,2	
6	7,3	9,7	10,3	10	9,7	11,3		15,7		6,1		7		7,6		7,2		
7	7,4	9,4		10	9,7	10,8		15,7		6		7		7,6		7,3		
8	7,2	7,9		10		11,3		15,7		6,2		7		7,6		7,3		
9	7,3	9,5		9,8		11,2		15,6		6,2		7		7,6		7,3		
10	7,3	9,6		9,5		11,3		15,7		6,2		7		7,6		7,3		
11	7,2	9,6		9,8		11		15,3		6,2		7,2		7,6		7,3		
12	7,4	9,5		10		11		15,7		6,2		7,3		7,6		7,3		
13	7,4	9,7		10		11,3		15,7		6		7,3		7,6		7,3		
14	7,4	9,7		9,5		11		15,3		6		7,3		7,6		7,3		
15	7,4	9,5		9,5		10,9		15,3		6,1		7,3		7,6		7,2		
16	7,4	9,7		9,6		10,9		15,3		6		7,3		7,6		7,3		
17	7,4	9,4		9,6		10,5		15,3		6		7,3		7,6		7,3		
18	7,4	9,2		9,5		10,2		15,3		5,8		7		7		7,12		
19	7,4	9		9,1		10,2		15,3		5,6		7		7,3		7,1		
20	7,4	9		9		10,2		15,3		5,6		7						
21	7,4	9		9		10,2		15,3		5,6		7						
22		9		9		10		15,3		5,6		7						
23		9		9		10,2												
24		9		9,1		10,2												
25		9				10,2												
Propa : propagation G : génération																		



Tableau de résultats de l'évolution De la couleur série 2

	Heineken	SAFITA		
jour	propa	g1	G2	G3
0	8,7	11	12,1	8,3
1	8,7	10,6	10,5	8,2
2	8,1	10,7	12	8,8
3	7,3	11	12	8,2
4	7,3	10,7	12	8,1
5	7,3	10,9	11,8	8,1
6	7,3	10,9	11,9	8,1
7	7,4	11	12,1	8
8	7,2	10,7	12	8,1
9	7,3	10,7	12	8,1
10	7,3	10,7	11,7	8,2
11	7,2	10,6	11,7	8,1
12	7,4	10,7	11,7	8,2
13	7,4	10,9	11,8	8,2
14	7,4	10,9	11,7	8,2
15	7,4	10,8	11,7	8,2
16	7,4	10,9	11,7	8,2
17	7,4	10,9	11,1	8,2
18	7,4	10	11,1	8,2
19	7,4	10	10,8	7,6
20	7	9,7	10,8	7,6
21	7	9,7	10,8	
22				
23				
24				
25				
Propa : propagation G : génération				



Tableau de résultats de l'évolution De la couleur série 3

	Heineken												
jour	propa	G11	G12	G21	G22	G31	G32	G41	G42	G51	G52	G61	G62
0	11	10,4	10,4	18,6	10,2	12,4	12,4	10,6	10,6	12,2	12,2	11,4	11,4
1	11	10,3	10,5	18,6	10,2	11	11,8	10,2	10	11	11,8	10,4	11,1
2	10,2	10,1	10,1	18	10	11	11,8	10,2	10	10,8	11,4	10,4	11,1
3	10,2	10	10	16	8,4	11	11,5	10	9,8	10,8	11,4	10	10,6
4	10,2	10,1	10	16	8,4	10,9	11,2	9,9	9,8	10,7	11,1	9,6	10,6
5	10	9,9	10	15,8	8,4	10,9	11,2	9,7	9,8	10,7	11,1	9,6	10,2
6	10,1	9,9		12,5		10,9		9,3		10,7		9,6	
7	9,9	9,9		12,5		10,9		9,7		10,7		9,6	
8	9,9	9,9		12,5		10		9,8		10,7		9,6	
9	9,9	9,9		12,5		10,9		9,7		10,7		9,6	
10	9,9	9,9		12,5		10,8		9,47		10,7		9,6	
11	9,9	9,9		12,5		11		9,7		10,7		9,6	
12	9,9	9,9		12,5		10,9		9,7		10,7		9,6	
13	9,9	9,9		12,5		10,9		9,7		10,6		9,5	
14	9,9	9,9		12,5		10,9		9,7		10,6		9,7	
15	9,9	9,9		12,5		10,9		9,7		10,7		9,6	
16	9,9	9,9		12,5		10,9		9,7		10,7		9,6	
17	10	9,9		12,5		10,9		9,7		10,7		9,6	
18	9,4	9,9		12,5		10,9		9		10,7		9,6	
19	9,4	9,9		12,56		10,9		9		10,6		9,6	
20	9,4	8,9		12,4		10		9		9,6		8,8	
21	9,4	8,9		12,4		10		9		9,6		8,8	
22	9,4	8,9		12,4		10		9		9,6		8,8	
23	9,4	8,9		12,4		10		9		9,6		8,8	
24		8,9		12,4		10		9		9,6		8,8	
25		8,9		12,4		10		9		9,6		8,8	
Propa : propagation G : génération													



Tableau de résultats de l'évolution De la couleur série 4

	Heineken			SAFITA			
jour	propa	G11	G12	G2	G3	G4	G5
0	11	10,2	10,2		9,2	8,1	8
1	11	9,7	9,8	9,4	8,4	7,2	7,2
2	10,2	9,7	9,8	9,4	8,1	7,1	7,2
3	10,2	9,5	9,4	8,7	8,1	7,2	7,1
4	10,2	9,5	9,4	8,7	8,1	7,2	7
5	10	9,4	9,4	8,7	8	7,1	7,2
6	10,1	9,5		8,7	7,8	6,9	6,8
7	9,9	9,5		8,5	7,9	6,7	6,8
8	9,9	9,5		8,5	7,9	6,7	6,8
9	9,9	9,4		8,9	7,9	6,7	6,8
10	9,9	9,5		8,7	7,9	6,7	6,8
11	9,9	9,5		8,7	7,9	6,7	6,8
12	9,9	9,5		8,7	7,9	6,5	6,8
13	9,9	9,5		8,9	7,9	6,5	6,8
14	9,9	9,5		8,9	7,9	6,5	6,8
15	9,9	9,5		9	7,3	6,5	6,8
16	9,9	9,5		9	7,3	6,5	6,1
17	10	9,5		9	7,3	6,5	6,1
18	9,4	8,8		9	7,3	6,54	6,1
19	9,4	8,8		8,4	7,3	6,5	
20	9,4	8,8		8,4			
21	9,4	8,8		8,4			
22	9,4	8,8		8,4			
23	9,4	8,8					
24		8,8					
25							
Propa : propagation G : génération							



Tableau de l'évolution Du PH sériel

	Heineken									SAFITA							
jour	propa	G11	12	G21	G22	G31	G32	G41	G42	G51	G52	G61	G62	G71	G72	G81	G82
1	4,89	4,95	5,05	5,05	5,08	4,9	4,98	4,66	4,8	4,82	4,92	4,75	4,77	4,74	4,77	4,74	4,77
2	4,72	4,81	4,82	4,84	4,86	4,78	4,86	4,5	4,6	4,7	4,78	4,56	4,53	4,54	4,5	4,5	4,48
3	4,62	4,64	4,68	4,75	4,79	4,67	4,78	4,47	4,56	4,65	4,63	4,3		4,32	4,28	4,39	4,34
4	4,58	4,62	4,67	4,14	4,58	4,63	4,6	4,43	4,48	4,33	4,41	4,3		4,24		4,35	4,29
5	4,54	4,61	4,65	4,56	4,56	4,56	4,59	4,32	4,43	4,3	4,38	4,33		4,24		4,35	4,27
6	4,51	4,52	4,54	4,56	4,54	4,54		4,3		4,31		4,35		4,27		4,37	
7	4,52	4,59		4,55	4,52	4,5		4,3		4,3		4,3		4,25		4,41	
8	4,53	4,59		4,55		4,48		4,3		4,3		4,3		4,28		4,4	
9	4,51	4,61		4,54		4,5		4,35		4,3		4,3		4,25		4,38	
10	4,49	4,62		4,62		4,5		4,3		4,35		4,3		4,23		4,41	
11	4,5	4,6		4,63		4,52		4,35		4,32		4,3		4,25		4,4	
12	4,52	4,6		4,6		4,53		4,35		4,35		4,3		4,31		4,4	
13	4,53	4,6		4,6		4,55		4,38		4,38		4,3		4,31		4,4	
14	4,54	4,6		4,62		4,54		4,4		4,4		4,3		4,31		4,4	
15	4,56	4,6		4,65		4,53		4,4		4,4		4,3		4,3		4,4	
16	4,57	4,66		4,64		4,54		4,4		4,4		4,3		4,31		4,4	
17	4,55	4,65		4,69		4,54		4,4		4,4		4,33				4,4	
18	4,57	4,65		4,68		4,55		4,4		4,4		4,33					
19	4,58	4,63		4,64		4,6		4,4		4,4		4,35					
20	4,59	4,65		4,64		4,55		4,4		4,4							
21	4,55	4,65		4,6		4,55		4,4		4,43							
22	4,53	4,65		4,6		4,55											
23	4,58	4,6		4,6		4,58											
24	4,5	4,6		4,6		4,55											
25	4,5	4,6				4,58											
Propa : propagation G : génération																	



Tableau de l'évolution Du PH série 2

	Heineken	SAFITA		
jour	propa	g1	g12	G2
0	5,14	5,2	5,16	5,15
1	4,89	4,82	4,66	5,01
2	4,72	4,7	4,58	4,65
3	4,62	4,65	4,52	4,54
4	4,58	4,63	4,56	4,43
5	4,54	4,1	4,59	4,45
6	4,51	4,6	4,6	4,5
7	4,52	4,6	4,6	4,45
8	4,53	4,6	4,6	4,48
9	4,51	4,6	4,6	4,5
10	4,49	4,6	4,6	4,5
11	4,5	4,65	4,6	4,5
12	4,52	4,74	4,6	4,5
13	4,53	4,69	4,6	4,48
14	4,54	4,64	4,6	4,5
15	4,56	4,65	4,59	4,5
16	4,57	4,65	4,59	4,45
17	4,55	4,64	4,6	4,45
18	4,57	4,65	4,6	4,46
19	4,58	4,63	4,6	4,5
20	4,59	4,63	4,6	4,5
21	4,55	4,62	4,6	4,5
22	4,53	4,63		
23	4,58	4,63		
24	4,5			
25	4,5			
Propa : propagation G : génération				



Tableau de l'évolution Du PH série 3

	Heineken												
jour	propa	G11	G12	G21	G22	G31	G32	G41	G42	G51	G52	G61	G62
0	5,1	5,18	5,18	5,13	5,13	5,12	5,12	5,1	5,1	5,1	5,1	5,17	5,17
1	4,69	4,79	4,88	4,58	4,86	4,75	4,87	4,76	4,9	4,92	4,82	4,81	4,88
2	4,55	4,64	4,71	4,45	4,68	4,6	4,68	4,65	4,74	4,75	4,71	4,63	4,67
3	4,42	4,52	4,54	4,32	4,6	4,52	4,57	4,51	4,56	4,59	4,62	4,49	4,53
4	4,35	4,45	4,48	4,27	4,57	4,5	4,52	4,44	4,51	4,52	4,47	4,48	4,52
5	4,4	4,5	4,45	4,4	4,51	4,51	4,48	4,45	4,47	4,49	4,41	4,5	4,5
6	4,42	4,48		4,47		4,55		4,47		4,47		4,52	
7	4,4	4,5		4,43		4,55		4,45		4,46		4,48	
8	4,33	4,52		4,43		4,58		4,45		4,46		4,5	
9	4,37	4,53		4,46		4,6		4,42		4,48		4,5	
10	4,39	4,54		4,43		4,6		4,44		4,5		4,49	
11	4,35	4,54		4,5		4,6		4,44		4,5		4,52	
12	4,34	4,56		4,5		4,62		4,46		4,5		4,55	
13	4,34	4,6		4,54		4,6		4,5		4,48		4,55	
14	4,34	4,6		4,54		4,6		4,5		4,47		4,55	
15	4,34	4,6		4,5		4,61		4,53		4,49		4,55	
16	4,34	4,59		4,54		4,61		4,55		4,48		4,56	
17	4,34	4,56		4,54		4,62		4,57		4,48		4,56	
18	4,34	4,6		4,54		4,62		4,57		4,48		4,56	
19	4,37	4,6		4,54		4,62		4,57		4,48		4,56	
20	4,4	4,6		4,54		4,62		4,57		4,48		4,56	
21	4,35	4,6		4,54		4,62		4,57		4,48		4,56	
22	4,35	4,6		4,54		4,62		4,55		4,5		4,56	
23	4,35	4,6		4,54		4,62		4,57		4,49		4,55	
24	4,35	4,6		4,54		4,65		4,56		4,5		4,55	
25	4,35	4,6		4,55				4,56		4,5		4,6	
Propa : propagation G : génération													



Tableau de l'évolution Du PH série 4

	Heineken			SAFITA			
jour	propa	G11	G12	G2	G3	G4	G5
0	5,1	5,18	5,18	5,08	5,12	5,18	5,13
1	4,69	4,92	5,02	4,86	5,06	4,86	4,77
2	4,55	4,64	4,84	4,53	5,95	4,69	4,63
3	4,42	4,43	4,7	4,51	4,93	4,61	4,55
4	4,35	4,41	4,61	4,5	4,61	4,61	4,52
5	4,4	4,41	4,58	4,5	4,55	4,58	4,55
6	4,42	4,5		4,55	4,55	4,6	4,55
7	4,4	4,5		4,56	4,6	4,64	4,6
8	4,33	4,52		4,58	4,62	4,67	4,67
9	4,37	4,54		4,58	4,63	4,69	4,65
10	4,39	4,55		4,58	4,63	4,69	4,65
11	4,35	4,54		4,6	4,65	4,7	4,65
12	4,34	4,54		4,62	4,65	4,73	4,65
13	4,34	4,54		4,67	4,65	4,73	4,65
14	4,34	4,6		4,66	4,6	4,73	4,65
15	4,34	4,6		4,69	4,61	4,73	4,65
16	4,34	4,53		4,55	4,62	4,73	4,69
17	4,34	4,6		4,55	4,62	4,7	4,7
18	4,34	4,6		4,55	4,62	4,7	4,7
19	4,37	4,6		4,6	4,62	4,7	4,7
20	4,4	4,6		4,6	4,62	4,7	4,7
21	4,35	4,6		4,6	4,62	4,7	
22	4,35	4,6					
23	4,35	4,6					
24	4,35	4,6					
25	4,35						
Propa : propagation G : génération							



Tableau de résultats des contaminations lactiques et levure sauvage

Avec le milieu NWLD				
	serie 1	serie 2	serie 3	serie 4
propa	5	5	0	0
G1	4	8	0	4
G2	5	0	0	0
G3	0		0	0
G4	5		0	0
G5	12		0	
G6	0		0	
G7	0			
G8	2			
Avec le milieu NBBA				
propa	0	0	0	0
G1	0	0	0	0
G2	0	0	0	0
G3	0		0	0
G4	0		0	0
G5	0		0	
G6	0		0	
G7	0			
G8	0			

Annexes

ANNEXE I : Norme produits

Produit	Heineken(F1,335)		Amestel(F1,360)		Tango (F1,373)		Samba (F1,470)		Fiasta(1,470)	
Paramètres Brassage	Spécificatio ns	Tolérance s	Spécificatio n	Tolérance s	Spécificati on	Tolérances	Spécificati ons	Tolérances	Spécificati ons	Tolérance s
Extrait (°P)	≤ 15		≤15,9		≤15,9		≤15,9		≤15,9	
Couleur (EBC)	11,5 ± 1,5	11,5 ± 2	14±1,5	14±2	11,5 ± 1,5	11,5 ± 2	11,5 ± 1,5	11,5 ± 2	11,5 ± 1,5	11,5 ± 2
PH	5,2 ± 0,1	5,2 ± 0,2	5,2±0,1	5,2±0,2	5,2 ± 0,1	5,2 ± 0,2	5,2 ± 0,1	5,2 ± 0,2	5,2 ± 0,1	5,2 ± 0,2
Bitertterness (BU)	32±2	32±3	36±2	36±3	37±2	32±3	39±2	39±3	39±2	39±3
atination limite(°P)	2-2,5	1,9-2,6	2-2,4	1,9-2,5	2-2,4	1,9-2,5	2-2,4	1,9-2,5	2-2,4	1,9-2,5
Zinc (mg/l)	0,5 - 0,6		0,5-0,6		0,5-0,6		0,5-0,6		0,5-0,6	
Caesium	≥40		≥40		≥60		≥60		≥60	
Nitrogènes total a 12° P(mg/l)	900-1100	800-1200	900-1100	800-1200	900-1100	800-1200	900-1100	800-1200	900-1100	800-1200
Free Amine Nitre gène(mg/l)	200±20	200±20	200±20	200±20	180±20	180±20	180±20	180±20	180±20	180±20
Fiteling yeasl(mg/l)			160		400-500		400-500		400-500	
wln(ufc/ml)	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
BA(ufc/ml)	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3

parametres fin	sêcification	tolerance	sêcification	tolerance	sêcification	tolerance	sêcification	tolerance	sêcification	tolerance
extrait primitif	≤ 15		≤15,5		≤15,5		≤15,5		≤15,5	
extrait apparent	2,4-2,9	2,3-3	2,2-2,7	2,,1-2,8	2,2-2,7	2,,1-2,8	2,4-2,9	2,3-3	2,4-2,9	2,3-3
alcool	≥6,7	≥7	≥6,8	≥7,3	≥6,6	≥7	≥6,2	≥6,6	≥6,2	≥6,6
couleur	9,5±1,5	9,5±2	12±1,5	12±2	9,5±1,5	9,5±2	9,5±1,5	9,5±2	9,5±1,5	9,5±2
PH	4,25-4,55	4,15-4,65	4,25-4,55	4,15-4,65	4,25-4,55	4,15-4,65	4,25-4,55	4,15-4,65	4,25-4,55	4,15-4,65
bitterness	25±1,5	25±2	28,5±2	28,5±3	27,5±2	27,5±3	29,5±2	29,5±3	29,5±2	29,5±3
totale vicinales dicentones	≤50	≤70	≤50	≤70	≤50	≤70	≤50	≤70	≤50	≤70
sulfites	5--10	≤20	5--10	≤20	5--10	≤20	5--10	≤20	5--10	≤20
oxygene dissous	≤10	≤15	≤10	≤15	≤10	≤15	≤10	≤15	≤10	≤15
nembre cellules	4±1		4±1		8±2		8±2		8±2	
acetaldehyde	≤5	≤7	≤5	≤7	≤5	≤7	≤6	≤8	≤6	≤8
ethyle acetate	30±2,5	30±3,5	30±2,5	20±3,5	27,5±5	27±6	29±5	29±6	29±5	29±6
isoamyle acetate	5±0,5	5±0,75	3,5±0,5	3,5±0,75	1,4±0,5	1,4±0,6	1,5±0,5	1,5±0,6	1,5±0,5	1,5±0,6
alcools superieurs	≤120		≤135		90-130		100-140		100-140	
mWLN	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
NBBA	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5
parametres filtre	sêcification	tolerance	sêcification	tolerance	sêcification	tolerance	sêcification	tolerance	sêcification	tolerance
extrait primitif	11,4±0,2	11,4±0,3	11,2±0,2	11,2±0,3	11,1±0,2	11,2±0,3	10,4±0,2	10,4±0,3	10,4±0,2	10,4±0,3
extrait apparent	1,5-2,2	1,5-2,4	1,4-2	1,5-2,4	1,4-2	1,5-2,4	1,5-2,2	1,5-2,4	1,5-2,2	1,5-2,4
alcool	≥5	≤5,3	≥5	≤5,3	≥4,8	≤5,1	≥4,2	≤4,5	≥4,2	≤4,5
couleur	7±1	7±1,5	9±1	9±1,5	7±1	7±1,5	7±1	7±1,5	7±1	7±1,5
PH	4,25-4,55	4,15-4,65	4,25-4,55	4,15-4,65	4,25-4,55	4,15-4,65	4,25-4,55	4,15-4,65	4,25-4,55	4,15-4,65
amertume	19±1,5	19±2	21±2	21±3	20±2	20±3	20±2	20±3	20±2	20±3
turbedite	≤0,7	≤0,7	≤0,7	≤0,7	≤1,2	≤1,4	≤1,2	≤1,4	≤1,2	≤1,4
TVDK	≤50	≤70	≤50	≤80	≤50	≤10	≤50	≤10	≤50	≤10
sulfites	5--10	≤20	5--10	≤20	5--10	≤20	5--10	≤20	5--10	≤20
oxygene dissous	≤80		≤100		≤100		≤100		≤100	
CO2 bout	0,53-0,57	0,25-0,58	0,53-0,57	0,25-0,58	0,53-0,57	0,25-0,58	0,53-0,57	0,25-0,58	0,53-0,57	0,25-0,58
CO2 can	0,52-0,58	0,52-0,58	0,52-0,58	0,52-0,58	0,52-0,58	0,52-0,58	0,52-0,58	0,52-0,58	0,52-0,58	0,52-0,58
CO2 fut										
mWLN	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40
mWLD	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
NBBA	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5
NBBC (5i)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NBBC (7i)										

ANNEXE II : Méthodes d'analyses

1. MESURE DE LA DENSITE D'UN LIQUIDE

1.1. METHODE AU SACCHAROMETRE

La mesure de la densité d'un liquide est basée sur le principe d'Archimède. Le densimètre calibré s'enfoncera plus ou moins en fonction de la densité du liquide.

Il est gradé en gr d'extrait pour 100 gr de liquide. La lecture s'effectuera en référant à la densité à 20°C

Appareillage :

- Un verre à pied d'environ 30cm de hauteur de 4cm de diamètre en acier inox.
- Un erlenmeyer de 1 litre
- Papier filtre plissé
- Entonnoirs
- Un densimètre de 0 à 10 Balling
- Un densimètre de 10 à 20 Balling

Mode opératoire :

- Les moules seront préalablement filtrés. Les bières seront dégazées par agitation dans un erlenmeyer de 1 litre et filtrées.
- Rincer le verre à pied avec l'échantillon à analyser
- Verser la bière ou le mout dans le verre à pied
- Rincer le densimètre avec l'échantillon
- Plonger le densimètre dans le liquide en évitant de le plonger trop profondément avant l'équilibre
- Attendre 2 à 3mn avant de faire la lecture
- La lecture se fait au niveau supérieur du ménisque
- Lire la température sur le thermomètre du saccharimètre et en se référant au tableau de correction, on détermine la densité à 20°C
- Après chaque utilisation, le densimètre sera rincé à l'eau distillée

Exemple avec densimètre 0.10 Balling

- La lecture au-dessus de ménisque indique 3.6° Bg
- La lecture sur thermomètre indique 16°C

- La lecture sur tableau de correction 1-6° Bg indique -0,17°Bg
- La densité apparente sera donnée par la formule :
 $3,6^{\circ}\text{Bg} - 0,1^{\circ}\text{Bg} = 3,43^{\circ}\text{Bg}$

NB : Les corrections sont indiquées en 100ème de °Bg

(ex. la correction 5 = 0,05Bg)

(ex. la correction 17 = 0,17Bg)

Les corrections pour température >20°C seront à ajouter à la lecture

Les corrections pour température <20°C seront à soustraire à la lecture

1.2-METHODE AU PYCNOMETRE :

Appareillage :

- Pycnomètre à bouchon rodé jaugé à 50ml
- Capillaire surmonté d'un entonnoir pour le remplissage des pycnomètres
- Bain thermostatique avec agitateur
- Le pycnomètre est un flacon jaugé à col étroit que l'on pèse vide (tarage) puis rempli d'eau distillée (poids d'eau) puis rempli du liquide à analyser
- La mise au trait (volume de 50ml) se fait à 20°C pour permettre l'emploi des tables de GOLDINER et KLEMANN pour la conversion en g/100ml
- Le pycnomètre est un instrument précis pour la détermination des densités. On l'utilise lorsque une grande précision est demandée et pour contrôler les saccharimètres.

Mode opératoire :

Tarage : Remplir le pycnomètre avec un mélange sulfo-chromique (H₂SO₄ saturé de K₂Cr₂O₇)

- Laisser séjourner une nuit pour détruire toutes les matières organiques
- Rincer abondamment avec de l'eau distillée
- Sécher, rincer à l'alcool puis à l'éther, éliminer les vapeurs d'éther avec une trompe à vide

- Peser au 100ème de mg pour connaître la tare
- Poids de l'eau (masse d'eau du pycnomètre) :
- Remplir le pycnomètre avec de l'eau distillée jusqu'au-dessus du trait de jauge et le placer dans le bain thermostatique à 20°C (à 0,05°C près). L'eau du bain doit dépasser le trait de jauge du pycnomètre.
 - Laisser le pycnomètre 30mn dans le bain.
 - Ajuster le niveau du liquide au trait de jauge du pycnomètre avec du papier filtre (capillaire de l'entonnoir).
 - S'assurer que le col du pycnomètre avec du papier buvard enroulé.
 - Le dessus du ménisque doit affleurer le trait de jauge. Tenir le pycnomètre à hauteur des yeux pour la mise au trait.
 - Remettre le pycnomètre dans le bain 5mn et contrôler le niveau ; éventuellement apporter une correction
 - Si le niveau est correct, retirer le pycnomètre du bain, l'essuyer et le laisser séjourner 1mn à côté de la balance avant d'effectuer la pesée.
 - Essuyer les condensats éventuels
 - Effectuer la pesée au 100ème de mg

Poids du liquide dont on désire connaître la densité :
Procéder exactement de la même façon que pour le poids de l'eau

Calcul du résultat :

$$\text{Densité } 20^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C} = \frac{\text{Poids (pycno. + liquide)} - \text{Poids (pycno.vide)}}{\text{Poids (pycno. + eau)} - \text{Poids (pycno.vide)}}$$

Convertir ensuite la densité en extrait apparent en gr/100gr, en se référant à la table d'extrait de GOLDINER et KLEMANN.

1.3-METHODE AU PYCNOMETRE :

Appareillage :

Coffret extrait réel

Mode opératoire :

Pour pouvoir connaître l'extrait primitif d'une bière, il faut préalablement connaître :

- Son extrait réel
- Sa teneur en alcool ;

La détermination de l'extrait réel et de la teneur en alcool est déjà décrite.

Calcul du résultat :

2,0665gr de mout donne en moyenne :

- 1gr de C₂H₅OH
- 0,9956gr de CO₂
- 0,11gr de levure

Chaque gramme de C₂H₅OH provenant de 2,0665gr de mout 5CO₂ et levure ne sont plus dans la bière), l'extrait primitif correspondant à 100gr de bière est égale à (2,0665xA) + n

ou :

n = extrait réel dans 100gr de bière

A = % d'alcool en gr

100g de bière proviennent de : 100g + A x 1,0665g de mout

(Pour chaque gramme d'alcool, il se forme 0,11g de levure et 0,9565g de CO₂)

L'extrait primitif est donné par :

$$\text{Extrait primitif} = \frac{(2,0665 \times A + n) \times 100}{100 + (A \times 1,0665)}$$

Pour éviter de devoir faire le calcul à chaque analyse, consulter les tables d'extrait primitif dans le volume II du cours de brasserie de CLERCK

1.4- Méthode A L'ANTON PAAR :

La mesure de la densité d'un liquide est déterminée en calculant le rapport entre l'amplitude de ses oscillations et sa viscosité.

Appareillage :

- ANTOPN PAAR
- Cellules appropriées à l'appareil.
- Ethanol (pureté > 96%)
- Eau bi distillée

- Papier filtre plissé
- Entonnoirs
- Kieselgur
- Station de dégazage

Mode opératoire :

Avant chaque calibration, il est préconisé de faire passer de l'éthanol pur non coloré.

Calibration : Suivre les étapes suivantes :

- presser sur menu
- ajustement
- ajust
- density + vos (air, water) s'affiche
- presser OK pour la calibration : air
- mettre une cellule d'eau di distillée
- presser start
- attendre la fin de la calibration
- presser repeat ou save

Mesure :

Avant chaque analyse il est recommandé de procéder au contrôle de l'eau :

Water Check suivant ces étapes :

- Presser sur menu
- Presser ajustement
- Presser Water Check
- Mettre une cellule d'eau bi distillée
- Presser Start

La mesure de la densité se fera selon le choix de la méthode (beer, wort)

- Mettre la bière préalablement dégazée puis filtrée sur Kieselguhr dans une cellule
- Presser start.
- Imprimer les résultats :
 - Densité apparente
 - Extrait réel
 - Extrait primitif

- Taux d'alcool v/v
- Taux d'alcool w/w
- Degré de fine fermentation

A la fin de chaque opération, le système est rincé à l'eau puis une pompe est activée pendant 10mn pour la vidange.

Chaque fin de semaine : Poser les godets dans l'ordre suivant :

- 1 godet d'eau distillée
- 2 godets de détergents (dilué à d'eau distillée)
- 7 godets d'eau distillée
- 2 godets d'HCl 3N
- 4 godets d'eau distillée
- 2 godets d'éthanol
- 2 godets d'eau

Chaque fin de semaine :

- 3 godets d'eau bi distillée
- 1 godet d'éthanol
- Activer la pompe pendant 10mn en connectant le tuyau à l'aiguille
- Ouvrir la pompe

2.METHODE DE COMPTAGES :

2.1. Comptage des cellules de levure à l'aide du spectrophotomètre :

La lecture de la D.O à 546 nm des solutions diluées 10x est linéaire par rapport à la mesure de l'hématimètre, pour une population comprise entre 5 et 45 millions de cellules par ml. Facteur de dilution = 130. Lire en concentration.

Matériels :

- 1 Bouteille de 250ml
- 1 pipette de 1ml
- 1 pipette de 10ml
- 1 Eprouvette de 10ml
- 1 Cuvette de verre 1 Spectrophotomètre.

Mode opératoire :

- Purger la conduite du robinet de prise d'échantillons.
- Rincer la bouteille à l'aide de l'échantillon à analyser
- Prélever ± 100 ml
- Pipeter 1ml de l'échantillon dans l'éprouvette
- Pipeter 9ml d'eau distillée dans l'éprouvette
- Homogénéiser
- Lecture de la D.O contre l'eau distillée.

Résultats :

$$D.O \times 10 \times f = \text{millions de cellules}$$

Remarque :

Le facteur multiplicatif doit être contrôlé régulièrement

2.2. Comptage à l'hématocytomètre :

Les cellules sont comptées sous le microscope en utilisant un hématocytomètre.

Matériels :

- Microscope
- pipette stérile
- Echantillon à analyser.
- Cellule de THOMAS ou cellule de MALASSEZ

2.2.1. La cellule de THOMAS :

La cellule possède 16 rectangles, dans chaque rectangle on observe 16 carrés. Chaque carré élémentaire à 0,05mm de cote, soit une surface de 0,0025mm². Chaque rectangle correspond à 0,2mm x 0,2mm = 0,04mm². L'écartement entre la lame et la lamelle est de 0,1mm. Le total des cellules visibles sur tel rectangle est compris dans :
0,04mm² x 0,1mm = 0,004mm³.

Mode opératoire :

Recouvrir d'une lamelle rigide, préalablement humectée avec l'haleine pour la coller sur la chambre de comptage.

Compter 10 rectangles : $0,004\text{mm}^3 \times 10 = 0,04\text{mm}^3$

$$0,004\text{mm}^3 \times 25 = 1\text{mm}^3$$

$$1\text{mm}^3 \times 1000 = 1000\text{mm}^3 = 1\text{ml}$$

Σ 10 rectangles x 25 000 x facteur dilution = cellules/ml

2.2.3. Comptage des cellules de levure à l'aide d'un nucléo-compter :

Les cellules sont comptées à base de la détection de leur ADN

Matériels :

- 1 Bouteille de 250ml
- 1 pipette de 1ml
- 1 pipette de 10ml
- 1 Eprouvette de 10ml
- 1 disquette de comptage.

Mode opératoire :

- Purger la conduite du robinet de prise d'échantillons.
- Rincer la bouteille à l'aide de l'échantillon à analyser

- Prélever $\pm 100\text{ml}$
- Pipeter 1ml de l'échantillon dans l'éprouvette
- Pipeter 9ml d'eau distillée dans l'éprouvette
- Homogénéiser
- pipeter dans la disquette et la placer dans le nucléo-compter.

Résultats :

Nombre indiquer $\times 10$ (ou le facteur de dilutions) = millions de cellules

Remarque :

Le facteur multiplicatif doit être contrôlé régulièrement

3. METHODES MICROBIOLOGIQUE

Les bactéries sont recherchées par une création d'un milieu favorable et sélectif.

3.1. Recherche des contaminants lactique

Matériels :

- pipette stérile
- Echantillon à analyser.
- Boîte de pétri
- Gélose NBBA
- Cycloheximide ou addition
- Hôte stérile
- Bec benzène
- Gare hermétique
- Aniroculte

Mode opératoire :

- Dans une bouteille stérile prélevé un échantillon
- Dans des boîtes de pétrie préparées préalablement avec gélose mélanger au cycloheximide en ensemencer notre échantillon
- Mettre les boîtes de pétrie dans une gare avec un aniroculte
- Mettre les gares pendant 5 jours à température $T=30^{\circ}\text{C}$ dans une étuve
- Lecture des résultats si apparition de colonies

Remarque

L'addition de cycloheximide est pour inhiber les cellules de levures

3.2. Recherche des levures sauvages

Matériels :

- pipette stérile
- Echantillon à analyser.
- Boîte de pétri
- Gélose NWLD
- Hôte stérile
- Bec benzène

Mode opératoire :

- Dans une bouteille stérile prélevé un échantillon
- Dans des boîtes de pétrie préparées préalablement avec gélose
- Mettre les boîtes de pétrie pendant 3 jours à température $T=30^{\circ}\text{C}$ dans une étuve
- Lecture des résultats si apparition de colonies

ANNEXE III : Appareillage spécifique à la bière



ANTON PAAR



Gare d'anaérobiose



Agitateur magnétique pour dégazage de bière